



Julia Reinhard

Bachelorarbeit

**Vergleichsrechnung einer stählernen
Fluchttreppe zwischen DIN 18800 und EC 3**

Comparative calculation of a steel escape stairs
between DIN 18800 and EC 3

Fakultät: Maschinenbau
Studiengang: Stahl- und Metallbau

Dresden, März 2013

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Torsten Laufs
Prof. Dr.-Ing. Peter Hübner

Hochschule Mittweida
Hochschule Mittweida

Vergleichsrechnung einer stählernen Fluchttreppe zwischen DIN 18800 und EC 3

Bachelorarbeit

Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences
Technikumplatz 17, D- 09648 Mittweida

<u>Eingereicht von:</u>	Julia Reinhard
<u>Fakultät:</u>	Maschinenbau
<u>Studiengang:</u>	Stahl- und Metallbau
<u>Seminargruppe:</u>	SM-09-w1-B
<u>Matrikelnr.:</u>	24126
<u>Adresse:</u>	Wachbergstraße 28c, 01458 Ottendorf-Okrilla
<u>Erstprüfer:</u>	Prof. Dr.-Ing. Torsten Laufs
<u>Zweitprüfer:</u>	Prof. Dr.-Ing. Peter Hübner

Bibliografische Beschreibung

Reinhard, Julia

Vergleichsrechnung einer stählernen Fluchttreppe zwischen DIN 18800 und EC 3. – 2013 – 309 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau,
Bachelorarbeit, 2013

Referat

Im April 2010 wurde eine europaweite einheitliche technische Norm eingeführt, die DIN EN 1993 (Eurocode 3). Sie gilt als Regelwerk für Bemessung, Konstruktion, sowie Entwurf von Stahlbauten. Im Vergleich zu der somit abgelösten DIN 18800 entstanden Änderungen in der Bemessung und Nachweisführung von Tragkonstruktionen. Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, anhand des gewählten Beispiels der stählernen Fluchttreppe, Unterschiede und Gemeinsamkeiten in Hinsicht auf die Nachweisführung und deren Ergebnisse von DIN 18800 und EC 3 zu vergleichen und zu analysieren. Im theoretischen Teil werden wesentliche und für dieses spezielle Beispiel entscheidende theoretische Grundlagen beider Normen dargestellt. Des Weiteren wird die Bemessung und Nachweisführung an Hand der stählernen Fluchttreppenanlage ausgeführt. Die Ergebnisse werden verglichen und analysiert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Ziele der Arbeit	3
1.3	Abgrenzungen der Arbeit.....	3
2	Theoretische Grundlagen der Querschnitts- und Stabilitätsnachweise und Anschlüsse aus DIN 18800 und EC 3	5
2.1	Gegenüberstellung der Normen	5
2.1.1	Werkstoffe.....	5
2.1.2	Querschnitte	7
2.1.3	Nachweisführung	10
2.1.4	Zusammenfassung relevanter Vergleiche zwischen DIN 18800 und EC 3	13
2.2	Bemessungsalgorithmen nach DIN 18800.....	18
2.2.1	Spannungsnachweis der Profile	18
2.2.2	Stabilitätsnachweise	19
2.2.2.1	Biegeknicken	19
2.2.2.2	Biegedrillknicken.....	20
2.3	Bemessungsalgorithmen nach EC 3.....	22
2.3.1	Allgemeines	22
2.3.2	Bestimmung der Querschnittsklasse	22
2.3.3	Querschnittsnachweis nach DIN EN 1993-1-1	25
2.3.4	Biegeknicknachweis einer Stütze.....	25
2.3.5	Biegedrillknicknachweis.....	30
2.4	Theoretische Grundlagen der Anschlüsse.....	32
2.4.1	Schraubenverbindungen.....	32
2.4.1.1	Allgemeines	32
2.4.1.2	Schraubenwerkstoffe	32
2.4.1.3	Schraubenform.....	33
2.4.1.4	Art der Vorspannung	33
2.4.1.5	Art der Beanspruchung.....	33
2.4.1.6	Vergleich DIN und EC	34
2.4.2	Schweißverbindungen.....	50
2.4.2.1	Allgemeines	50
2.4.2.2	Vergleich zwischen DIN und Eurocode- Konstruktive Festlegungen	50
2.4.2.3	Berechnung nach DIN	52
2.4.2.4	Berechnung nach Eurocode (DIN EN 1993-1-1, 1-8/NA)	56
2.5	Auswertung des Normenvergleichs	61
3	Berechnung nach Eurocode	62
3.1	Vorstellung der zu untersuchenden Anlage	62
3.2	Lastannahmen	74
3.3	Bemessung und Nachweisführung.....	76
3.3.1	Zuordnung der Querschnittsklassen.....	76
3.3.1.1	Position 1: UNP 160	76
3.3.1.2	Position 2 bis 12.....	77
3.3.2	Querschnittsnachweise und Stabilitätsnachweise	78

3.3.2.1	Position 1	78
3.3.2.2	Position 2 bis 12.....	90
4	Auswertung.....	91
4.1	Vergleich der Ergebnisse der Querschnitts- und Stabilitätsnachweise aus DIN 18800 und EC 3.....	91
4.2	Zusammenfassung der Querschnitts- und Stabilitätsnachweise.....	93
5	Anschlüsse.....	95
5.1	Darstellung der vorhandenen Anschlüsse	95
5.2	Anschlussberechnung nach Eurocode.....	96
5.2.1	Anschluss UNP 160 – Pos.1 (UNP 160 an HEA 120).....	96
5.3	weitere Anschlüsse.....	111
6	Auswertung.....	112
6.1	Vergleich der Ergebnisse der Anschlüsse aus DIN 18800 und EC 3.....	112
6.2	Zusammenfassung der Nachweise der Anschlüsse.....	115
6.3	Konstruktive Anschlüsse nach Eurocode.....	115
6.3.1	Anschlüsse UNP 140 Pos.3.....	116
6.3.2	Anschluss QR60x5 Pos.7 als Geländerpfosten	126
6.3.3	Anschluss Zugstab Pos.12.....	130
6.4	Ergebnisvergleich der Anschlüsse nach DIN 18800 und Eurocode.....	132
7	Zusammenfassung.....	135
	Eidesstattliche Erklärung.....	136
8	Literatur.....	137
	Tabellenverzeichnis	
	Abbildungsverzeichnis	
	Anlagen	
	Anhang	

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

1975 beschloss die Europäische Kommission auf Grund von Artikel 95 der Römischen Verträge, Veränderungen im Baubereich einzuführen. Ziel war es, eine europaweite Normung zu entwickeln. Man versprach sich davon zahlreiche Vorteile wie: Europaweit einheitliche Entwurfskriterien, Harmonisierung national unterschiedlicher Regeln, eine einheitliche Basis für die Forschung und Entwicklung zu schaffen und somit einen einfachen Austausch von Dienstleistungen, sowie Produkten im Bauwesen und einfache europaweite Ausschreibungen von Bauleistungen zu gewährleisten. Handelshemmnisse im Baubereich sollten durch dieses Aktionsprogramm beseitigt werden.

Die ersten Fassungen des Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau entstanden in den 80er Jahren. 1989 wurde diese Aufgabe an CEN, die Europäische Normungsorganisation, weitergegeben. Es wurde beschlossen, dass die Eurocodes als Grundlage europaweiter einheitlicher Bezugsdokumente gelten sollten für den Nachweis der wesentlichen Anforderungen mechanische Festigkeit und Standsicherheit, sowie die Bemessung im Brandfall nach der Bauprodukten-Richtlinie, als Vertragsgrundlage für Ingenieur- und Bauleistungen und als gemeinsame Grundlage für die harmonisierten Produktnormen und europäischen technischen Zulassungen für Produkte.

Die Eurocodes sind keine Produktnormen, sie betreffen die baulichen Anlagen und stellen somit eine direkte Verbindung zu den Vorschriften der in Artikel 12 der Bauprodukten-Richtlinie als Grundlagendokumente her.

Im ersten Zuge erschienen die Europäischen Vornormen (ENV). Dies waren Dokumente der Europäischen Kommission, welche an den CEN übermittelt wurden. Sie beinhalteten die Nationalen Anwendungsdokumente (NAD) zur probeweise bauaufsichtlicher Anwendung, ergänzt mit den „boxed values“ zur Berücksichtigung nationaler Unterschiede in Hinsicht auf Bauarten, Sicherheitsanforderungen und klimatischen Gegebenheiten.

In einem weiteren Schritt wurden ab 1997 diese Vornormen in Europäische Normen (EN) überführt. Dabei sollten die aus den Stellungnahmen zu den Vornormen ergebene technische Änderungen und Ergänzungen in den EN übernommen werden.

Durch die Zusammenarbeit von Wissenschaftlern, Praktikern, Anwendern und Ingenieuren und unter der Auswertung ihrer wissenschaftlichen und praktischen Erfahrungen, entstand so der Eurocode. Zurzeit gibt es 10 Eurocodes:

- Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung (EN 1990)
- Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke (EN 1991)
- Eurocode 2: Bemessung & Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken (EN 1992)
- Eurocode 3: Bemessung & Konstruktion von Stahlbauten (EN 1993)
- Eurocode 4: Bemessung & Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton (EN 1994)
- Eurocode 5: Bemessung & Konstruktion von Holzbauten (EN 1995)
- Eurocode 6: Bemessung & Konstruktion von Mauerwerksbauten (EN 1996)
- Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik (EN 1997)
- Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben (EN 1998)

- Eurocode 9: Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen (EN 1999)

Zu jedem Eurocode gibt es länderspezifische nationale Anhänge, in welchen z.B. national festgelegte Parameter wie Teilsicherheitsbeiwerte und Erläuterungen festgehalten sind.

Seit dem 01.Juli 2012 ist der Eurocode (EC) in Deutschland verbindlich und ersetzt so die DIN.

Versucht man nun beide Normen, die DIN und den EC, miteinander zu vergleichen, entdeckt man einige Gemeinsamkeiten, sowie Unterschiede. Im Folgenden wird speziell die DIN 18800 mit dem EC3 betrachtet.

1.2 Ziele der Arbeit

Die vorliegende Bachelorarbeit baut auf der im Vorfeld von Herrn Prof. Dr.-Ing. Torsten Laufs[1] erarbeiteten Bemessung und Nachweisführung einer stählernen Fluchttreppe nach DIN auf.

Es handelt sich um eine ehemalige Malzfabrik, die im Zuge einer Sanierung mit einer stählernen Fluchttreppenanlage versehen werden soll.

In der folgenden Arbeit wird nur die Bemessung und Nachweisführung der Fluchttreppe betrachtet.

Es erfolgt eine Berechnung nach aktueller Norm, dem Eurocode. Die vorhandene Bemessung und Nachweisführung nach DIN dient zum Vergleich.

Es werden die Ergebnisse beider Normen verglichen und analysiert, sowie Alternativen zur Umsetzung nach EC aufgezeigt.

Die Algorithmen und Rechenmodelle werden theoretisch betrachtet, um Unterschiede, sowie Gemeinsamkeiten von z.B. Parametern zu verdeutlichen.

In der abschließenden Diskussion werden die Ergebnisse verglichen und diskutiert.

1.3 Abgrenzungen der Arbeit

Für die Vergleichsberechnungen der Fluchttreppenanlage nach DIN und EC werden gleiche Voraussetzungen und Randbedingungen angenommen. Die Bemessung der Konstruktion erfolgt in der Stahlsorte S235 (DIN 1025-2). Die Profile werden auf Tragfähigkeit (Spannung und Stabilität), nicht aber auf Schwingungen nachgewiesen.

Berechnungen und Modelle, welche für dieses spezielle Beispiel irrelevant sind, werden nicht im theoretischen Teil oder zusätzlich an Beispielen betrachtet, d.h. Untersuchungen bezüglich Sonderlasten- Brandfall und Erdbeben, sowie Temperatureinwirkungen auf die Konstruktion werden nicht berücksichtigt. Anpralllasten werden ausgeschlossen.

Berechnungsmodelle, die an zahlreichen Stellen in der Statik analog auftreten, werden an Beispielrechnungen dargestellt, auf jede weitere analoge Rechnung wird verzichtet, aber hingewiesen. Außerdem werden die Nachweisführung des Fundamentkörpers, der Bodenpressung und die Verankerung nicht betrachtet.

Die stählerne Fluchttreppe befindet sich in einer vorhandenen Baunische der ehemaligen Malzfabrik. Die Tragfähigkeit der Bausubstanz ist nicht bekannt. Es wird von einem Mauerwerk mit MZ10 in MGII ausgegangen. Die Stützgrößen auf Dieses werden versucht, gering zu halten. Weiterhin kann die Wirksamkeit der aussteifenden Decken nicht eingeschätzt werden.

Einzuleitende horizontale Kräfte in der Deckenebene, sowie in dem Mauerwerk sollten wegen den erkennbaren Stabankern aus Eisen so gering wie möglich gehalten werden.

Die Z-Güteauswahl ist nicht notwendig und Vorgesehen.

Der Stufen- und Podestbelag besteht aus Gitterroste, deren Nachweisführung sich der Aufgabenstellung entzieht. Eine Nutzung der stabilisierenden Wirkung der Gitterroste unter bestimmten Bedingungen nach LGA-Bericht erfolgt nicht.

In der abschließenden Auswertung sollen Anhand der Berechnungen die Grundlegenden Unterschiede benannt und erklärt werden, sowie Lösungsvarianten speziell für die Ausbildung der Anschlüsse vorgestellt werden, die den Berechnungen nach Eurocode gerecht werden.

2 Theoretische Grundlagen der Querschnitts- und Stabilitätsnachweise und Anschlüsse aus DIN 18800 und EC 3

Im folgenden Kapitel sollen die grundlegenden Unterschiede und Gemeinsamkeiten beider Normen dargestellt werden. Es wird speziell auf die Werkstoffe, Querschnitte und die Nachweisführung eingegangen. Zusätzlich wird eine tabellarische Übersicht über weitere wesentliche Unterschiede beider Normen dargestellt.

2.1 Gegenüberstellung der Normen

2.1.1 Werkstoffe

Im Eurocode 3 sind durch den erweiterten Anwendungsbereich, Stähle mit größeren Streckgrenzen zu finden. So regelt die DIN EN 1993-1-1 Stähle mit der Streckgrenze bis 460N/mm^2 , Teil 1-12 Stähle mit einer Streckgrenze von 460N/mm^2 bis 700N/mm^2 und der Teil 1 bis 4 nicht rostende Stähle. Durch die Umstellung des SI-Systems von $g=10\text{ m/s}^2$ auf $g=9,81\text{ m/s}^2$ entstehen zusätzlich unterschiedliche Werte für die Streckgrenzen bei den beiden Normen. So ergibt sich für den Werkstoff S235 nach Eurocode eine Streckgrenze $f_{y,k}=235\text{ N/mm}^2$ bei einer Blechdicke von $t \leq 40\text{ mm}$. Nach DIN lag die Streckgrenze bei $f_{y,k}=240\text{ N/mm}^2$. Diese Veränderten Werte haben Einfluss auf die Ergebnisse in der Nachweisführung.

Tabelle 3.1 – Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzten Baustahl





Werkstoffnorm und Stahlsorte	Erzeugnisdicke t mm			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	 490 	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	 490 	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

Tabelle 1: Nennwerte der Streckgrenzen für Baustähle bis 460 N/mm² nach EC 3
Quelle: DIN EN 1993-1-1 Tab. 3.1

2.1.2 Querschnitte

Im Eurocode wird zwischen 4 Querschnittsklassen (QK) unterschieden. Sie sind wichtig für die Art der Nachweisführung, je nach Bestimmung kann elastisch-elastisch, elastisch-plastisch oder plastisch-plastisch gerechnet werden. Bei der Nachweisführung der Klasse 1 und 2 können plastische Querschnittswerte, für Klasse 3 elastische und für die Klasse 4 reduzierte elastische Werte verwendet werden. Bei der QK 4 können Zusatzmomente durch eine Verschiebung der Nulllinie und der Normalkraft entstehen. Sie sind in der Nachweisführung zu berücksichtigen.

Bei der Bestimmung der Querschnittsklasse eines Profilquerschnitts werden bei z.B. einem Doppel-T-Profil der Steg und Flansch separat betrachtet und die jeweilige Querschnittsklasse über die Momenten-Krümmungsbeziehungen, welche von der Schlankheit des druckbeanspruchten Querschnitts abhängig ist, bestimmt. Für den Gesamtquerschnitt ergibt sich die ungünstigste Querschnittsklasse der Einzelquerschnittsteilen.

Die folgenden Tabellen zeigen die Kriterien und Zuordnungskriterien über das c/t -Verhältnis druckbeanspruchter Querschnitte.

Auf Zug beanspruchte Querschnitte werden stets der QK 1 zugeordnet.

Querschnitte, welche auf Zug und Druck beansprucht werden, werden wie Querschnitte die nur auf Druck beansprucht werden, klassifiziert.

Weiterhin ist bekannt, dass Querschnitte der Querschnittsklasse 1 nicht beulgefährdet sind. Hingegen die QK 2 bis QK 4 auf örtliches Beulen zu untersuchen sind.

In der DIN gab es das b/t -Verhältnis, welche über die Beulgefährdung von Bauteilen Aufschluss gab.

Tabelle 5.2 – Maximales c/t-Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile

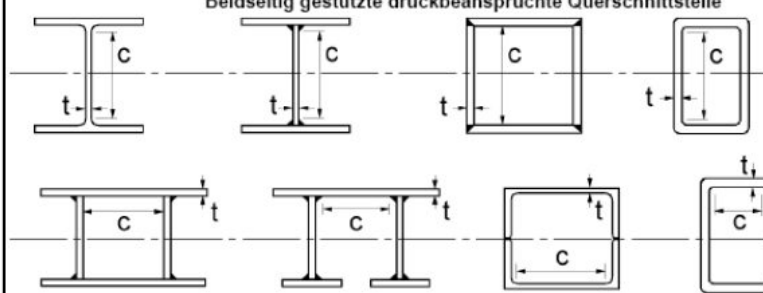
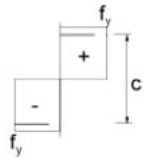
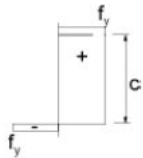
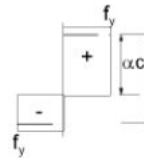
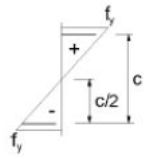
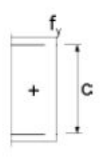
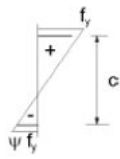
Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile						
				Biegeachse		
Klasse	auf Biegung beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile		auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile		
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)						
1	$clt \leq 72\varepsilon$	$clt \leq 33\varepsilon$		für $\alpha > 0,5$: $clt \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$: $clt \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$		
2	$clt \leq 83\varepsilon$	$clt \leq 38\varepsilon$		für $\alpha > 0,5$: $clt \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$: $clt \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$		
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)						
3	$clt \leq 124\varepsilon$	$clt \leq 42\varepsilon$		für $\psi > -1$: $clt \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ für $\psi \leq -1^a$: $clt \leq 62\varepsilon (1 - \psi) \sqrt{(-\psi)}$		
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
^a Es gilt $\psi \leq -1$ falls entweder die Druckspannungen $\sigma \leq f_y$ oder die Dehnungen infolge Zug $\varepsilon_y > \frac{f_y}{E}$ sind.						

Tabelle 2: Klassifizierung druckbeanspruchter Querschnitte

Quelle: DIN EN 1993-1-1 Tab. 5.2

Tabelle 5.2 (fortgesetzt) – Maximales c/t-Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile

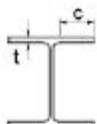

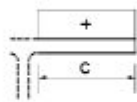
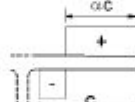
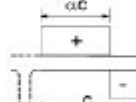
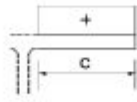
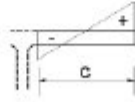
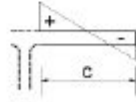
Einseitig gestützte Flansche							
							
Gewalzte Querschnitte			Geschweißte Querschnitte				
Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile					
		freier Rand im Druckbereich		freier Rand im Zugbereich			
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
1	$clt \leq 9e$	$clt \leq \frac{9e}{\alpha}$		$clt \leq \frac{9e}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$clt \leq 10e$	$clt \leq \frac{10e}{\alpha}$		$clt \leq \frac{10e}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
3	$clt \leq 14e$	$clt \leq 21e \sqrt{k_{\sigma}}$ Für k_{σ} siehe EN 1993-1-5					
$e = \sqrt{235 / f_y}$		f_y	235	275	355	420	460
		e	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Tabelle 3: Klassifizierung druckbeanspruchter Querschnitte (Fortsetzung)

Quelle: DIN EN 1993-1-1 Tab. 5.2

Tabelle 5.2 (fortgesetzt) – Maximales c/t-Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile

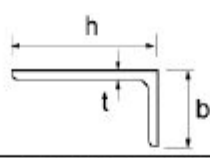
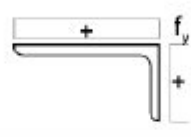
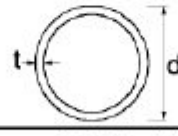
<p>Winkel</p>  <p>Siehe auch „einseitig gestützte Flansche“ in Tabelle 5.2, oben</p> <p>gilt nicht für Winkel mit durchgehender Verbindung zu anderen Bauteilen</p>						
Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile					
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)						
3	$h/t \leq 15\epsilon$ und $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$					
<p>Runde Hohlquerschnitte</p> 						
Klasse	auf Biegung und/oder Druck beanspruchte Querschnittsteile					
1	$d/t \leq 50\epsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\epsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\epsilon^2$					
ANMERKUNG Für $d/t > 90\epsilon^2$ siehe EN 1993-1-6.						
$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ϵ^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Tabelle 4: Klassifizierung druckbeanspruchter Querschnitte (Fortsetzung)

Quelle: DIN EN 1993-1-1 Tab. 5.2

2.1.3 Nachweisführung

Die Nachweisführung beider Normen erfolgt mittels Bemessungswerten. Die charakteristischen Werte werden mit Teilsicherheitsbeiwerten (γ_M auf der Widerstandsseite, γ_F auf der Lastseite) und Kombinationsbeiwerten versehen. Die γ_F Werte werden weiterhin wie bereits nach DIN, auch im Eurocode zwischen $\gamma_F=1,35$ für ständige Einwirkungen und $\gamma_F=1,5$ für veränderliche Einwirkungen unterschieden. Die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite unterscheiden sich in beiden Normen. So wurde nach DIN mit $\gamma_M=1,1$ bzw. mit $\gamma_M=1,0$ für reine Spannungsuntersuchungen und für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit gerechnet. Nach Eurocode wird zwischen $\gamma_{M0}=1,0$ für Querschnittsnachweise; $\gamma_{M1}=1,1$ für Stabilitätsnachweise und $\gamma_{M2}=1,25$ für Verbindungsmittelnachweise unterschieden.

Folgende Tabellen stellen relevante Kombinationsbeiwerte Ψ nach Eurocode und DIN dar:

Tabelle A.1.1 – Empfehlung für Zahlenwerte für Kombinationsbeiwerte im Hochbau

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-1)			
Kategorie A: Wohngebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: Bürogebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: Versammlungsbereiche	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: Verkaufsflächen	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: Lagerflächen	1,0	0,9	0,8
Fahrzeugverkehr im Hochbau Kategorie F: Fahrzeuggewicht $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: $30\text{kN} < \text{Fahrzeuggewicht} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Kategorie H : Dächer	0	0	0
Schneelasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-3) ^a			
— Finnland, Island, Norwegen, Schweden	0,7	0,5	0,2
— Für Orte in CEN-Mitgliedsstaaten mit einer Höhe über 1000 m ü. NN	0,7	0,5	0,2
— Für Orte in CEN-Mitgliedsstaaten mit einer Höhe niedriger als 1000 m ü. NN	0,5	0,2	0
Windlasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperaturanwendungen (ohne Brand) im Hochbau, siehe EN 1991-1-5	0,6	0,5	0
ANMERKUNG Die Festlegung der Kombinationsbeiwerte erfolgt im Nationalen Anhang.			
^a Bei nicht ausdrücklich genannten Ländern sollten die maßgebenden örtlichen Bedingungen betrachtet werden.			

Tabelle 5.1: Kombinationsbeiwerte nach Eurocode

Quelle: DIN EN 1990 Tab. A.1.1

- Mit:
- Ψ_0 ...Kombinationsbeiwerte einer veränderlichen Einwirkung
 - Ψ_1 ...Beiwerte für häufige Werte der veränderlichen Einwirkung
 - Ψ_2 ...Beiwerte für quasi-ständige Werte der veränderlichen Einwirkung

Einwirkungen	ψ_0	ψ_1	ψ_2
<u>Nutzlasten</u> ^{ad}			
Kategorie A: Wohnräume, Aufenthaltsräume	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: Büroräume	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: Versammlungsräume	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: Verkaufsräume	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: Lagerräume	1,0	0,9	0,8
<u>Verkehrslasten</u>			
Kategorie F: Fahrzeuggewicht $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: Fahrzeuggewicht $30\text{kN} < F \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: Dächer	0,0	0,0	0,0
Schnee- und Eislasten Orte bis zu NN + 1000m	0,5	0,2	0,0
Schnee- und Eislasten Orte über NN + 1000m	0,7	0,5	0,2
Windlasten	0,6	0,5	0,0
Temperatureinwirkungen (nicht für Brand !) ^b	0,6	0,5	0,0
Baugrundsetzungen	1,0	1,0	1,0
Sonstige Einwirkungen ^c	0,8	0,7	0,5
a... Abminderungsbeiwert für Nutzlasten in mehrgeschossigen Hochbauten siehe DIN 1055-3 d... ψ -Beiwerte für Maschinenlasten sind betriebsbedingt festzulegen b... siehe 1055-7 c... ψ -Beiwerte für Flüssigkeitsdruck sind standortbedingt festzulegen			

Tabelle 5.2: Kombinationsbeiwerte nach DIN 1055-100 Tab. A.2

Quelle: eigene Darstellung

Beide Tabellen zeigen nur geringe Unterschiede. Vereinfacht wird mit $\psi=0,9$ bzw. $\psi=1,0$ gerechnet.

Die DIN und der Eurocode ermöglichen 3 Arten der Nachweisführung:

- Elastisch-Elastisch
- Elastisch-Plastisch
- Plastisch-Plastisch

Für die Querschnittsklassen 1 und 2 wird nach EC der plastische Nachweis geführt, da Dieser wirtschaftlichere Querschnitte erzielt.

Eine Gemeinsamkeit beider Normen besteht in der Nachweisführung an Stellen, an denen mehrere Schnittgrößen gleichzeitig angreifen. In diesem Fall ist ein Interaktionsnachweis nötig.

2.1.4 Zusammenfassung relevanter Vergleiche zwischen DIN 18800 und EC 3

	DIN 18800	DIN EN 1993
<u>Werkstoffe</u>	Bezeichnung nach DIN EN 10025 charakteristische Werte festgelegt: S235: $f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$ $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$ S355: $f_{y,k} = 360 \text{ N/mm}^2$ $f_{u,k} = 470 \text{ N/mm}^2$ Angaben zu Stahlguss und Vergütungsstählen vorhanden	Bezeichnung nach DIN EN 10025 charakteristische Werte identisch: S235: $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$ S355: $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 490 \text{ N/mm}^2$ keine Angaben
Grundwerkstoff (für $t \leq 40\text{mm}$)		
Schrauben	4.6, 5.6, 8.8, 10.9	4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9
Stahlsorten	Stahlgüteauswahl nach DAST-Ri 009	Regeln nach DIN EN 1993-1-10
Terassenbruch	Untersuchung nach DAST-Ri 014	Regeln nach DIN EN 1993-1-10
<u>Bemessungskonzept</u>		
<ul style="list-style-type: none"> Teilsicherheitsfaktoren Lastseite (Beanspruchung) Teilsicherheitsfaktoren Widerstandsseite (Beanspruchbarkeit) Kombinationsbeiwerte Einwirkungskombinationen 	$\gamma_F = 1,35$ ständige Einwirkungen $\gamma_F = 1,5$ veränderliche Einwirkungen $\gamma_M = 1,1$ bzw. $\gamma_M = 1,0$ für reine Spannungsuntersuchungen, NW Gebrauchstauglichkeit $\psi = 0,9$ bzw. $\psi = 1,0$ (vereinfacht) $F_d = \gamma_{F,G} \cdot G_k + \psi \cdot \gamma_{F,Q} \cdot Q_k$ veränderliche Einwirkungen sind gleichwertig	$\gamma_F = 1,35$ ständige Einwirkungen $\gamma_F = 1,5$ veränderliche Einwirkungen $\gamma_{M0} = 1,0$ Querschnittsnachweise $\gamma_{M1} = 1,1$ Stabilitätsnachweise $\gamma_{M2} = 1,25$ Verbindungsmittelnachweise $\psi = 0 \dots 1,0$ DIN EN 1990 Tab. A.1.1 $E_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k + \sum \psi \cdot \gamma_Q \cdot Q_k$ veränderliche Einwirkungen sind wahlweise Leit- oder Begleiteinwirkung

Tabelle 6: Zusammenfassung

Quelle: eigene Darstellung

<u>Querschnittsklassifizierung</u>	<ul style="list-style-type: none"> keine Einordnung der Querschnitte Aussage über Beulgefährdung der Querschnitte über b/t-Verhältnis <p>vorh. $(b/t) \leq \text{grenz } (b/t)$ (kein exakter Beulnachweis notwendig)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Einordnung in einer der 4 Querschnittsklassen über das c/t-Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile QK gibt Aussage über Beulgefährdung und somit über Nachweisführung <p>QK1: Nachweis el/el, el/pl, pl/pl QK2: Nachweis el/el, el/pl, pl/pl QK3: Nachweis el/el, QK4: Nachweis el/el, Berücksichtigung örtliche Beulen</p>
<u>Nachweise</u> <ul style="list-style-type: none"> Querschnittstragfähigkeit Nachweisform Querschnittsnachweis 	<p>Nachweise der Tragsicherheit für Bauteile</p> <p>Untersuchung der b/t-Verhältnisse in Abh. des Nachweisverfahrens</p> <p>Spannungsnachweise und Schnittgrößenvergleiche</p> <p>Einzelnachweise: Normal- und Schubspannung</p> <p>Vergleichsspannungsnachweis: wenn $\sigma_{x,d}/\sigma_{R,d} > 0,5$ oder $\tau_d/\tau_{R,d} > 0,5$</p>	<p>Nachweise der Tragsicherheit für Bauteile und Querschnitte</p> <p>Klassifizierung der Querschnitte über c/t-Verhältnisse, Einschätzung der Rotationsfähigkeit & effektiven Querschnittswerte</p> <p>Schnittgrößenvergleich</p> <p>Querschnittsnachweis über Momentenbeanspruchbarkeit</p> <p>Berücksichtigung: Abminderung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit infolge Querkraftbeanspruchung, wenn $V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$</p>

Tabelle 7: Zusammenfassung (Fortsetzung)

Quelle: eigene Darstellung

<ul style="list-style-type: none"> • Dünnwandige Bauteile • Imperfektion • Stabilitätsnachweise 	<p>Angaben in den Normen DIN 18800, T2, T3, T4, DAST-Ri 015</p> <p>DIN 18800 T1, T2, konkrete Angaben für Vorkrümmung und Vorverdrehung</p> <p>Biegeknick- und Biegedrillknicknachweise</p>	<p>Berücksichtigung des Einflusses der Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit, wenn $N_{Ed} > 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$ und $N_{Ed} > (0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y) / \gamma_{M0}$</p> <p>Hinweise in DIN EN 1993-1-1, konkrete Angaben in 1993-1-3</p> <p>Angaben in DIN EN 1993-1-1</p> <p>Biegeknicknachweis für verdrehsteife Querschnitte</p> <p>Biegedrillknicknachweise für verdrehweiche Querschnitte (Interaktionsnachweis Biegeknicken und Biegedrillknicken)</p>
<u>Stabilität</u>	<p>Angaben zu den Standardfällen der Knicklängen (DIN 18800 T2)</p> <p>Kritische Lasten für Standardfälle (DIN 18800 T2)</p> <p>Zuordnung zu Europ. Knicklinien (a,b,c,d) in Abh. der Querschnittsformen und Eigenspannungen</p> <p>Formeln für ideale Biegedrillknickmomente für Standardfälle (DIN 18800 T2)</p> <p>Angaben von 3 BDK-Linien in Abh. von dem Trägerbeiwert n (DIN 18800-2 Tab.9)</p>	<p>keine Angaben</p> <p>keine Angaben</p> <p>Zuordnung zu Europ. Knicklinien teilweise verändert, zusätzl. Knicklinie a_0 eingeführt</p> <p>Keine Angaben, Hinweise in Literatur</p> <p>differenzierte Angaben der BDK-Linien in Abh. der Querschnittsform (DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.4)</p>

Tabelle 8: Zusammenfassung (Fortsetzung)

Quelle: eigene Darstellung

<u>Zugstäbe</u> <ul style="list-style-type: none"> • Risslinien • Winkelanschlüsse • hochfeste Zugglieder 	Vernachlässigung des Lochabzuges unter bestimmten Bedingungen keine detaillierten Angaben Formel für Anschlussausbildung mit einer Schraube Angaben in DIN 18800 T1	keine Vernachlässigung möglich konkrete Angaben Formeln für vers. Anschlussausbildungen Angaben in DIN EN 1993-1-11
<u>Verbindungen</u>	Beschränkung auf wesentliche Nachweise und Hinweise zur Konstruktion Behandlung gelenkiger und biegesteifer geschraubter Verbindungen	detaillierte Angaben zu den Nachweisen und konstruktiven Ausbildung von Träger-Stützen-Verbindungen in DIN EN 1993-1-8 Erfassung gelenkiger, biegesteifer und halbsteifer geschraubter Verbindungen
<u>Durchbiegungen</u>	keine exakten Angaben für Grenzwerte	genaue Vorgabe für die Berechnung der Verformung aus Vorkrümmung, ständigen und veränderlichen Einwirkungen
<u>Ermüdung</u>	keine Angaben, Verweis auf Fachnormen	Kerbgruppen, Ermüdungsfestigkeitskurven und Nachweisformeln in DIN EN 1993-1-9

Tabelle 9: Zusammenfassung (Fortsetzung)

Quelle: eigene Darstellung

<i>Bezeichnungen</i>		DIN 18800 <small>Ausgabe November 2008</small>	DIN EN 1993 Teil 1 <small>Ausgabe Dezember 2010</small>
Knicklänge:		S_k	L_{cr}
Angriffspunkt der Querlast:		Z_p	Z_g
Bezugsschlankheitsgrad	Biegeknicken	$\bar{\lambda}_{k,y/z}$	$\bar{\lambda}_{y/z}$
	Biegedrillknicken	$\bar{\lambda}_M$	$\bar{\lambda}_{LT}$
Abminderungsbeiwert	Biegeknicken	$K_{y/z}$	$\chi_{y/z}$
	Biegedrillknicken	K_M	χ_{LT}
Momentenbeiwerte:		β_M, β_m, ζ	C_{my}, C_{mLt}
Interaktionsfaktoren:		k_y	k_{yy}, k_{zy}
Imperfektionsbeiwert Knicklinie BDK:		α	α_{LT}
Bemessungswert der Normalkraft:		$N_{ki,y/z}$	$N_{cr,y/z}$
ideales Biegedrillknickmoment:		M_{ki}	M_{cr}

Tabelle 10: Vergleich der Bezeichnungen

Quelle: [2]

<i>Berechnung</i>	DIN 18800 <small>Ausgabe November 2008</small>	DIN EN 1993 Teil 1 <small>Ausgabe Dezember 2010</small>
Knicklänge:	$S_{k,y/z} = \beta_{y/z} \cdot l_z$	$L_{cr} = \beta_{y/z} \cdot L$
Bemessungswert der Normalkraft:	$N_{ki,y/z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y/z}}{S_{k,y/z}^2}$	$N_{cr,y/z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y/z}}{L_{cr}^2}$
Bezugsschlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung:	$\bar{\lambda}_{k,y/z} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{ki,y/z}}}$	$\bar{\lambda}_{y/z} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y/z}}}$
Bezugsschlankheitsgrad für Momentenbeanspruchung:	$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{ki,y/z}}}$	$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$

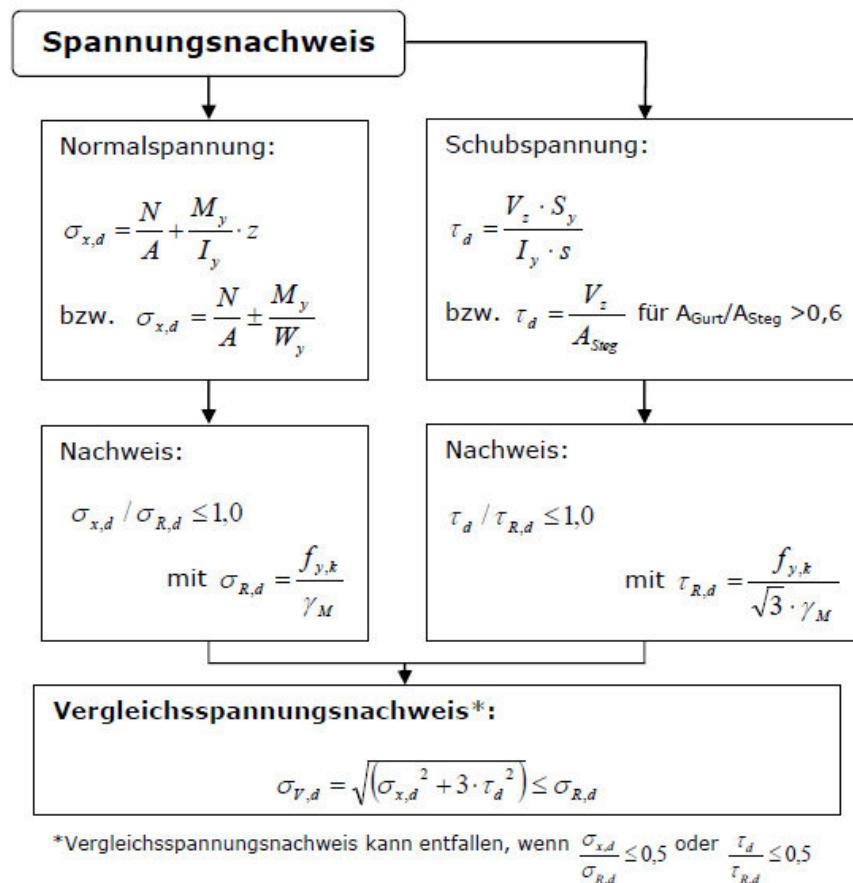
Tabelle 11 : Vergleich der Berechnung ausgewählter Faktoren

Quelle: [2]

2.2 Bemessungsalgorithmen nach DIN 18800

2.2.1 Spannungsnachweis der Profile

Nach DIN 18800 sind für jeden Querschnitt ein Normal- und ein Schubspannungsnachweis mit den jeweiligen maßgebenden Schnittgrößen nötig. Ein Vergleichsspannungsnachweis ist nötig, wenn einer oder beide dieser Einzelnachweise einen höheren Ausnutzungsgrad als 50% aufweist.



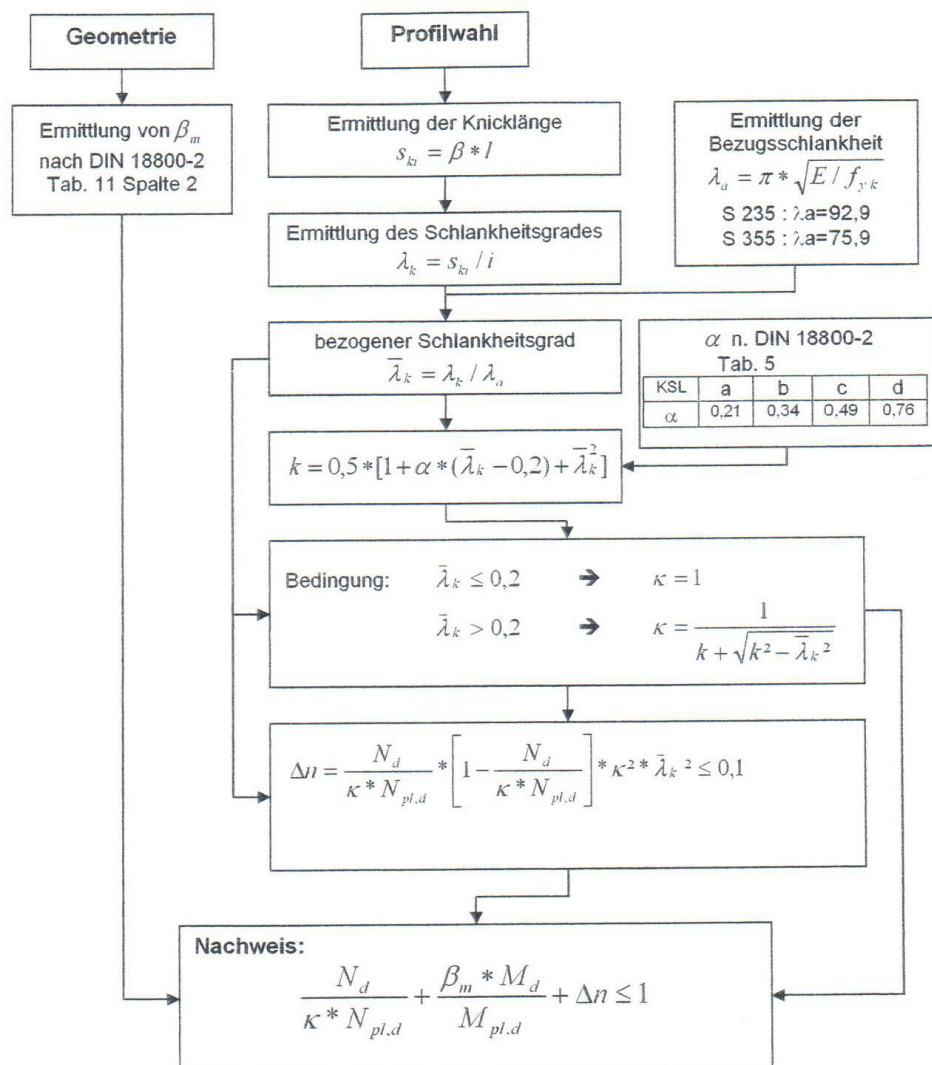
Quelle: [2]

2.2.2 Stabilitätsnachweise

Nach DIN sind für die Nachweisführung der Fluchttreppe die 2 Versagensarten Biegeknicken und Biegedrillknicken zu untersuchen. Die folgenden Flussdiagramme stellen die Herangehensweise dar.

2.2.2.1 Biegeknicken

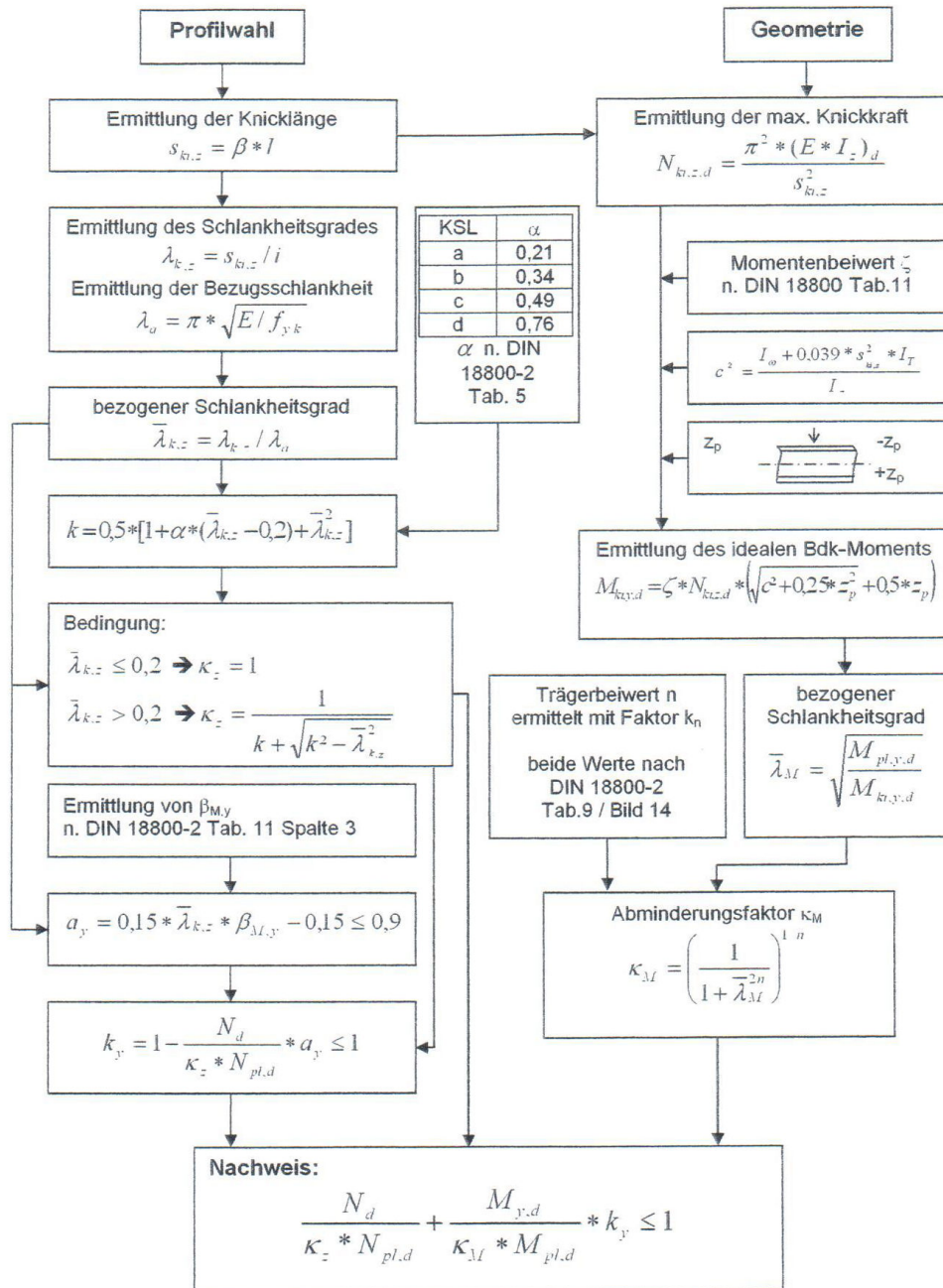
Flußbilddiagramm Biegeknicken Stahl nach DIN 18800-2 Abschnitt 3



Quelle: [3]

2.2.2.2 Biegedrillknicken

Flussbilddiagramm Biegedrillknicken Stahl nach DIN 18800-2
Abschnitt 3



Quelle: [3]

Tabelle 9 – Trägerbeiwerte n



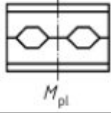

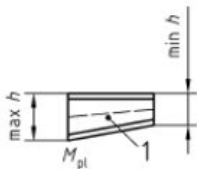
	Profil	n
1	gewalzte Träger 	2,5
2	geschweißte Träger 	2,0
3	Wabenträger 	1,5
4	Ausgeklinte Träger 	2,0
5	Voutenträger ^a  1 Schweißnaht $\frac{\min h}{\max h} \geq 0,25$	$0,7 + 1,8 \frac{\min h}{\max h}$
^a Wenn die Flansche an den Steg geschweißt sind, ist der Trägerbeiwert n zusätzlich mit 0,8 zu multiplizieren.		

Tabelle 12: Trägerbeiwerte n

Quelle : DIN 18800-2 Tab. 9

Tabelle 10 – Momentenbeiwerte ζ



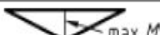
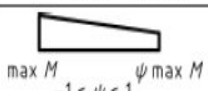
Zeile	Momentenverlauf	ζ
1		1,00
2		1,12
3		1,35
4	 $\max M$ $-1 \leq \psi \leq 1$	$1,77 - 0,77 \psi$

Tabelle 13: Momentenbeiwerte ζ

Quelle : DIN 18800-2 Tab. 12

2.3 Bemessungsalgorithmen nach EC 3

2.3.1 Allgemeines

In der DIN EN 1993-1, dem Eurocode 3, werden zunächst wie bisher nach der deutschen Norm, die Bemessungswerte der plastischen Normalkraft $N_{pl,Rd}$ und das plastische Moment $M_{pl,Rd}$ nach den Regeln der Mechanik berechnet. Bei der Berechnung der plastischen Querkraft $V_{pl,Rd}$ ergeben sich durch die Berechnung der wirksamen Schubfläche A_w Veränderungen.

Zunächst wird der entsprechende Querschnitt betrachtet. Dieser ist einer Querschnittsklasse zuzuordnen. Sie bestimmt die Art der Nachweisführung (el-el, el-pl, pl-pl). Durch die ermittelten und zugleich maßgebenden Schnittgrößen kann nun der Querschnitt auf seine vorhandene Belastung untersucht und nachgewiesen werden. Der Teilsicherheitsfaktor $\gamma_{M0}=1,0$ ist zu berücksichtigen.

Bei den Stabilitätsnachweisen sind der Biegeknick- und Biegedrillknicknachweis erforderlich. In diesem Fall ist der Teilsicherheitsfaktor $\gamma_{M1}=1,1$ anzuwenden. Diese beiden Nachweise werden nicht mehr im Einzelnen geführt, da die Phänomene Biegeknicken und Biegedrillknicken oft in Kombination auftreten.

So werden die Einflüsse beider Stabilitätsprobleme in den Bemessungsgleichungen berücksichtigt. Verdrehsteife Stäbe, wie Hohlquerschnitte, sind so auf Biegeknicken und verdrehweiche Stäbe, wie offene Querschnitte z.B. I-Profile, auf Biegedrillknicken zu untersuchen.

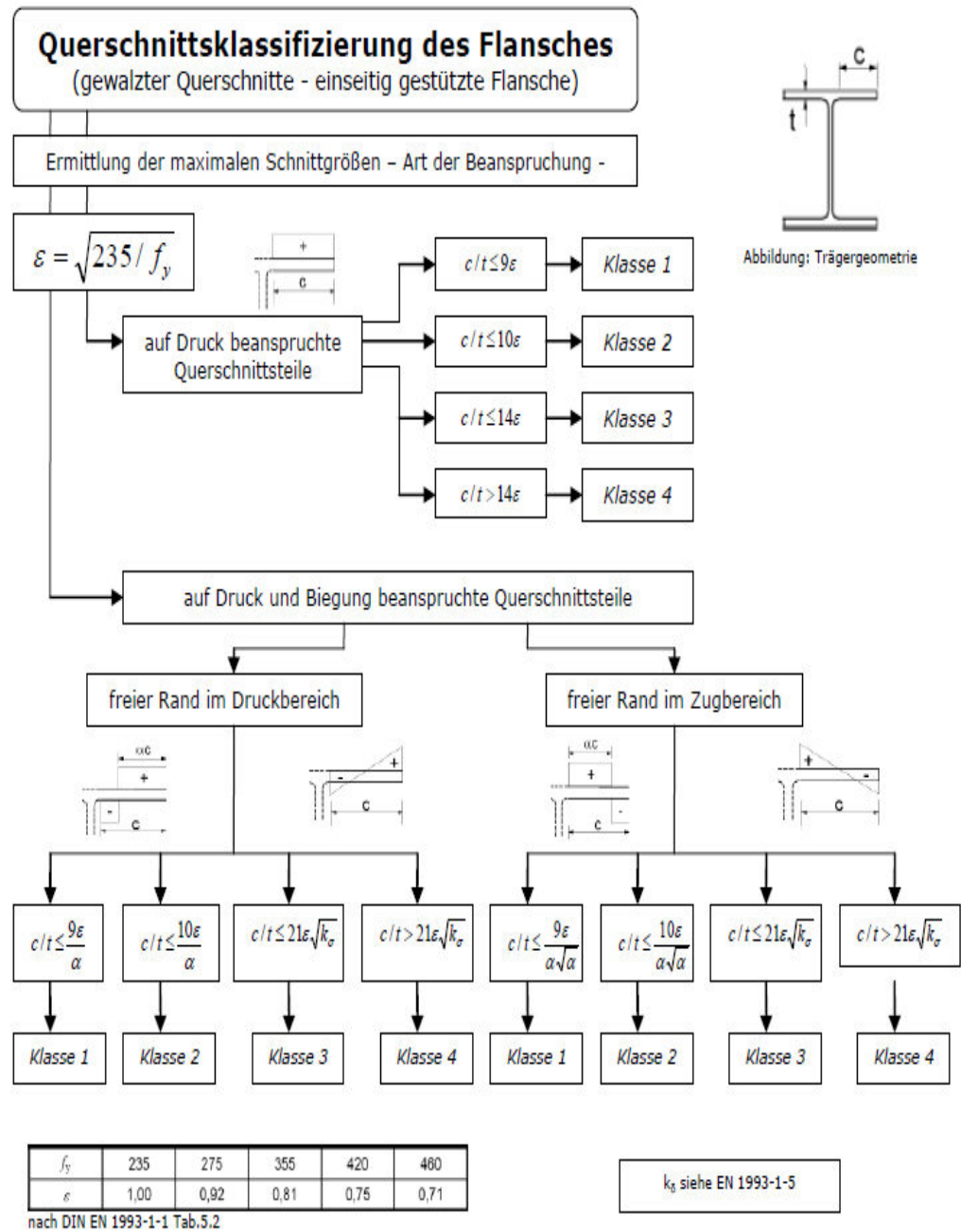
2.3.2 Bestimmung der Querschnittsklasse

Jedes druckbeanspruchte Querschnittsteil, Flansch und Steg, wird einzeln betrachtet und einer Querschnittsklasse von 1 bis 4 über das c/t - Verhältnis und dem Belastungsfall zugeordnet, wobei 1 die günstigste und 4 die ungünstigste Querschnittsklasse bildet. Die Belastungsfälle unterscheiden sich in Druck, Druck und Biegung, sowie Biegung.

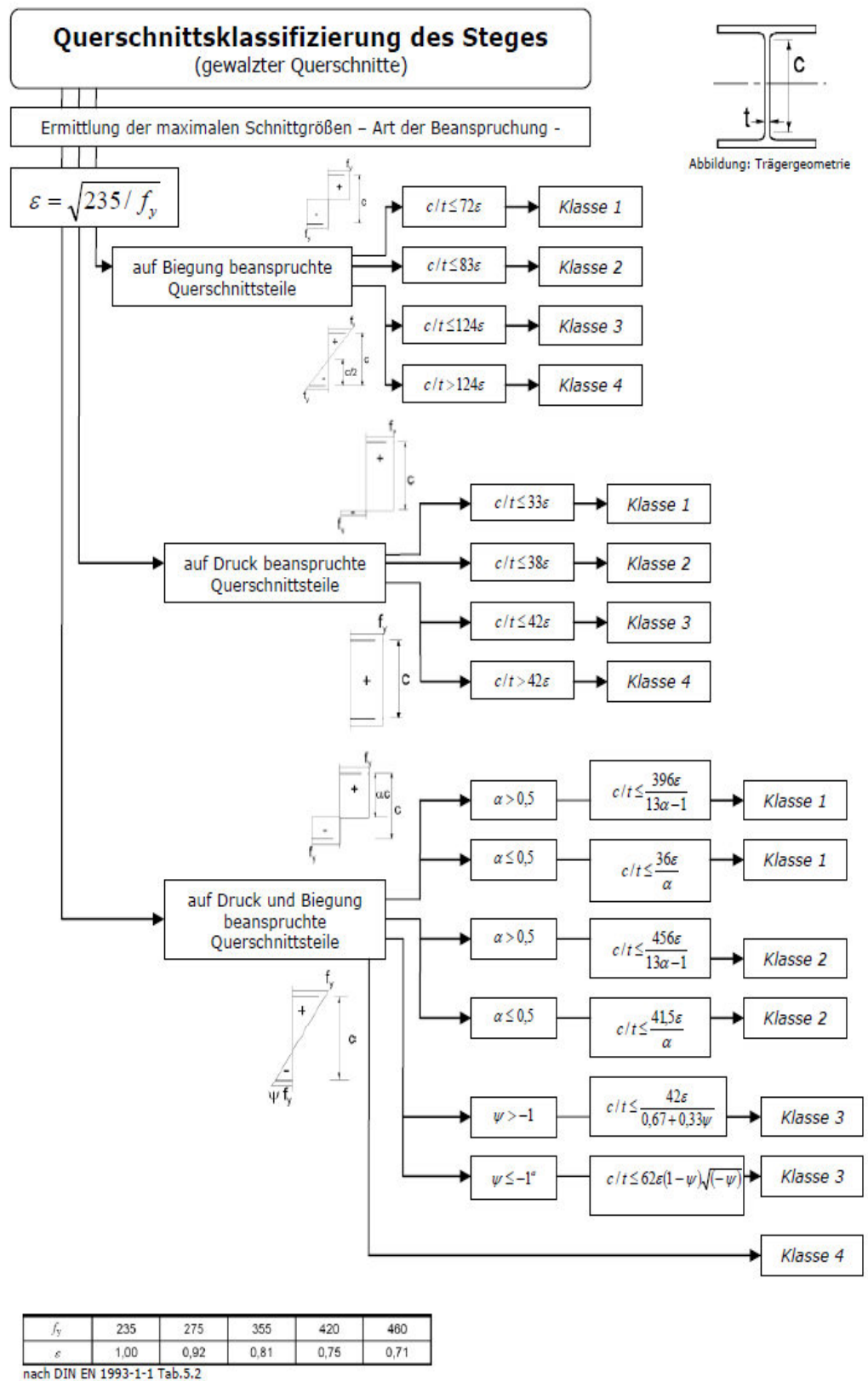
Für den Gesamtquerschnitt ist die ungünstigste Querschnittsklasse der Einzelquerschnittsteile maßgebend.

Über die Querschnittsklassen wird das Nachweisverfahren (el-el, el-pl, pl-pl). und somit die Art der Grenzschnittgrößen bestimmt.

Für Querschnitte der Klasse 1 und 2 können somit plastische Querschnittswerte angesetzt werden, für Querschnitte der Klasse 3 hingegen sind elastische Grenzschnittgrößen notwendig.

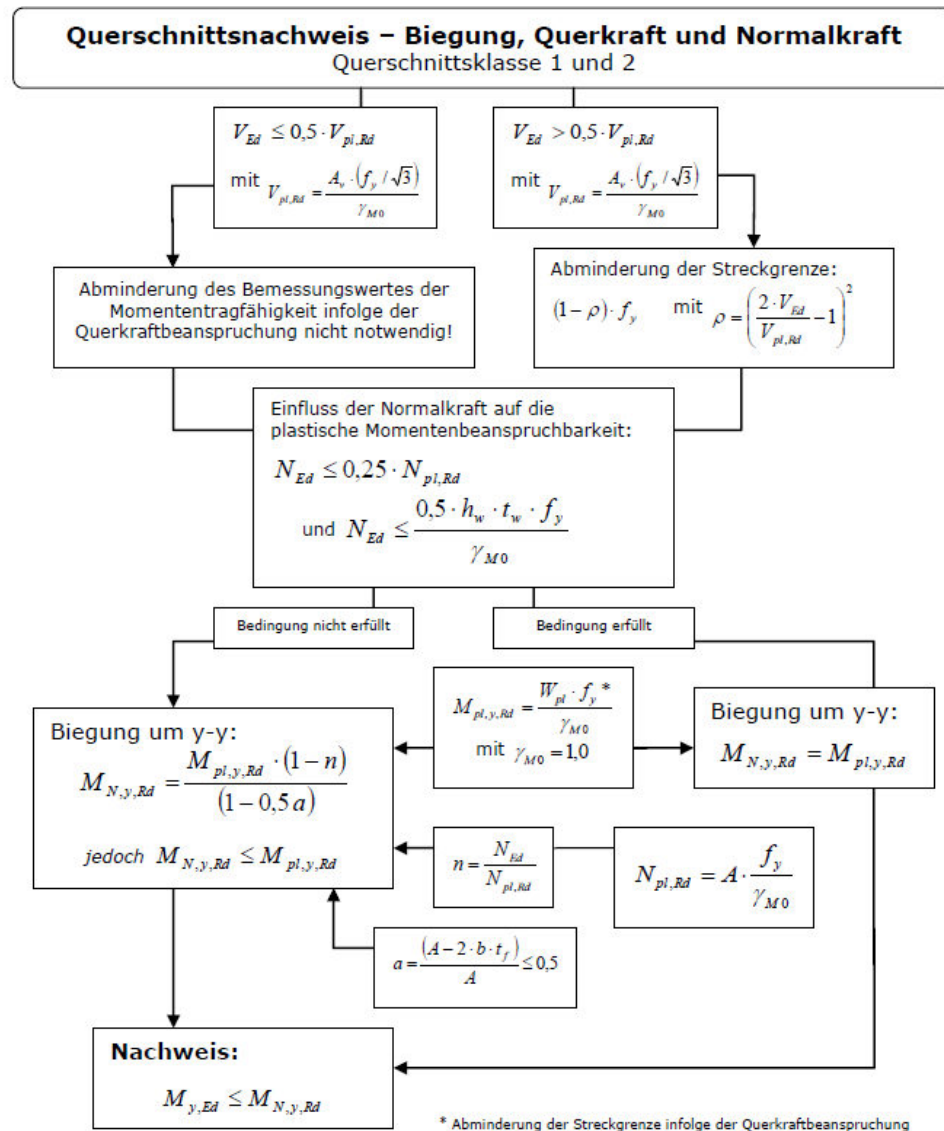


Quelle: [2]



^a gilt $\psi \leq -1$ falls entweder die Druckspannungen $\sigma \leq f_y$ oder die Dehnungen infolge Zug $\varepsilon_y > f_y/E$ sind.

2.3.3 Querschnittsnachweis nach DIN EN 1993-1-1



Quelle: [2]

2.3.4 Biegeknicknachweis einer Stütze

Eine Stütze wird auf Biegung und Druck beansprucht. Sie muss nach DIN EN 1993-1-1 auf Biegeknicken nachgewiesen werden. Es werden verdrehweiche und verdrehsteife Stabquerschnitte unterschieden. Verdrehsteife Stäbe werden nur auf Biegeknicken nachgewiesen, da Diese nicht biegedrillknickgefährdet sind. Verdrehweiche Stäbe sind auf Biegeknicken mit Interaktionsnachweis in Kombination mit den Biegedrillknicknachweis zu überprüfen.

Tabelle 6.2 – Auswahl der Knicklinie eines Querschnitts

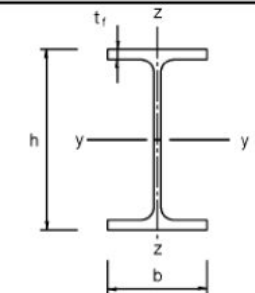
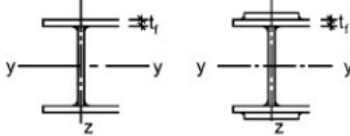

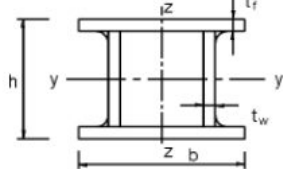
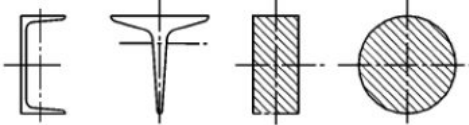

Querschnitt		Begrenzungen		Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Nicklinie	
					S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
gewalzte I-Querschnitte		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a	a ₀
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b	a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b	a
			$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d	c
Geschweißte I-Querschnitte		$t_f \leq 40 \text{ mm}$		y-y z-z	b	b
		$t_f > 40 \text{ mm}$		y-y z-z	c	d
Hohlquerschnitte		warmgefertigte		jede	a	a ₀
		kaltgefertigte		jede	c	c
Geschweißte Kastenquerschnitte		allgemein (außer den Fällen der nächsten Zeile)		jede	b	b
		dicke Schweißnähte: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$		jede	c	c
U-, T- und Vollquerschnitte		jede		jede	c	c
L-Querschnitte		jede		jede	b	b

Tabelle 14: Auswahl der Knicklinie eines Querschnitts

Quelle: DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

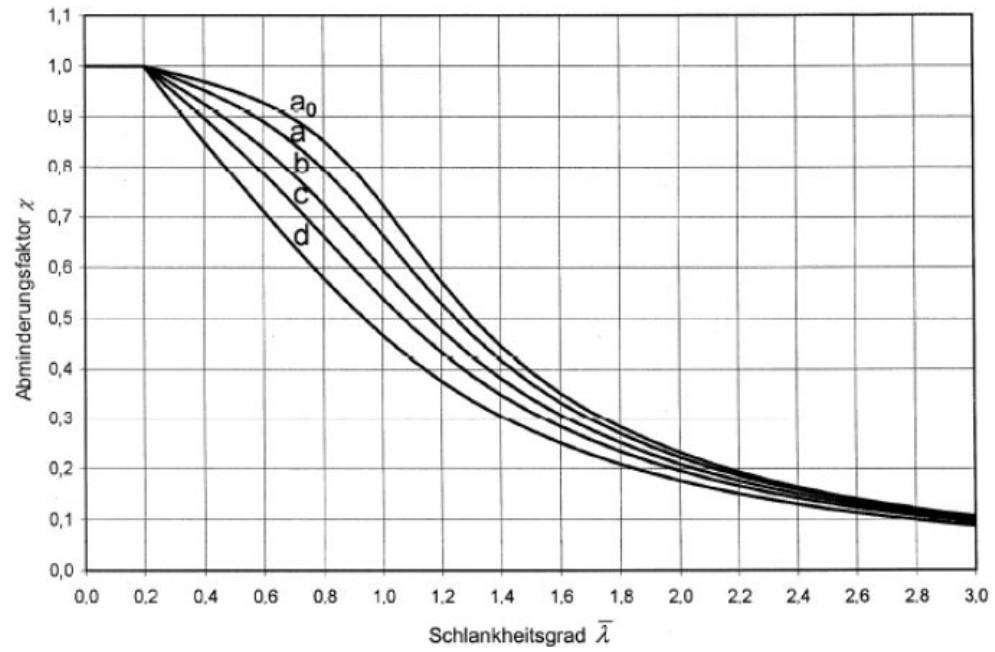


Abbildung 1: Knicklinien

Quelle: DIN EN 1993-1-1 Bild 6.4

Tabelle 6.1 - Imperfektionsbeiwerte der Knicklinie

Knicklinie	a_0	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabelle 15: Imperfektionsbeiwerte der Knicklinie α

Quelle: DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.1

Tabelle B.3 – Äquivalente Momentenbeiwerte C_m zu Tabelle B.1 und B.2


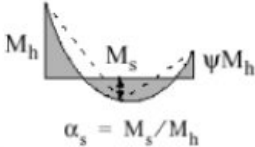
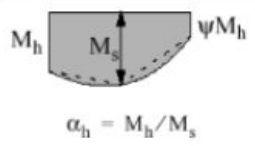
Momentenverlauf	Bereich		C_{my} und C_{mz} und C_{mLT}	
			Gleichlast	Einzellast
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1 + 2\psi)$	$\boxed{AC} 0,90 + 0,10\alpha_h(1 + 2\psi) \boxed{AC}$
Für Bauteile mit Knicken in Form seitlichen Ausweichens sollte der äquivalente Momentenbeiwert als $C_{my} = 0,9$ bzw. $C_{mz} = 0,9$ angenommen werden.				
C_{my} , C_{mz} und C_{mLT} sind in der Regel unter Berücksichtigung der Momentenverteilung zwischen den maßgebenden seitlich gehaltenen Punkten wie folgt zu ermitteln:				
Momentenbeiwert	Biegeachse	In der Ebene gehalten		
C_{my}	y-y	z-z		
C_{mz}	z-z	y-y		
C_{mLT}	y-y	y-y		

Tabelle 16: Äquivalente Momentenbeiwerte C_m

Quelle: DIN EN 1993-1-1 Anhang B, Tab. B.3

2.3.5 Biegedrillknicknachweis

Nach Eurocode werden 2 Verfahrensarten für den Nachweis des Biegedrillknicknachweises unter Momentenbelastung zugelassen, dem allgemeinen Verfahren und dem Verfahren für gewalzte und gleichartig geschweißte Querschnitte, welcher einen größeren Aufwand mit sich zieht, jedoch durch den Torsionswiderstand, speziell bei niedrigen, gedrunenen Walzprofilen mit großen Blechdicken, eine bessere Ausnutzung der Profile erzielt. Bei diesem Nachweis werden die Verzweigungslast und die Abminderungsfaktoren für die Gesamtsituation betrachtet.

Der Nachweis für verdrehweiche Stäbe erfolgt wie nach DIN 18800 über das Interaktionsverfahren. Dabei werden die Abminderungsbeiwerte x_y und x_z für das Knicken ermittelt und x_{LT} für die Momentenbeanspruchung.

Beide Teile werden zusammen durch Interaktionsbeiwerte k_{yy} , k_{yz} , k_{zz} und k_{zy} zusammengefasst.

Tabelle 6.3 – Empfohlene Imperfektionsbeiwerte der Knicklinie für das Biegedrillknicken

Knicklinie	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabelle 17: Imperfektionsbeiwerte α_{LT}

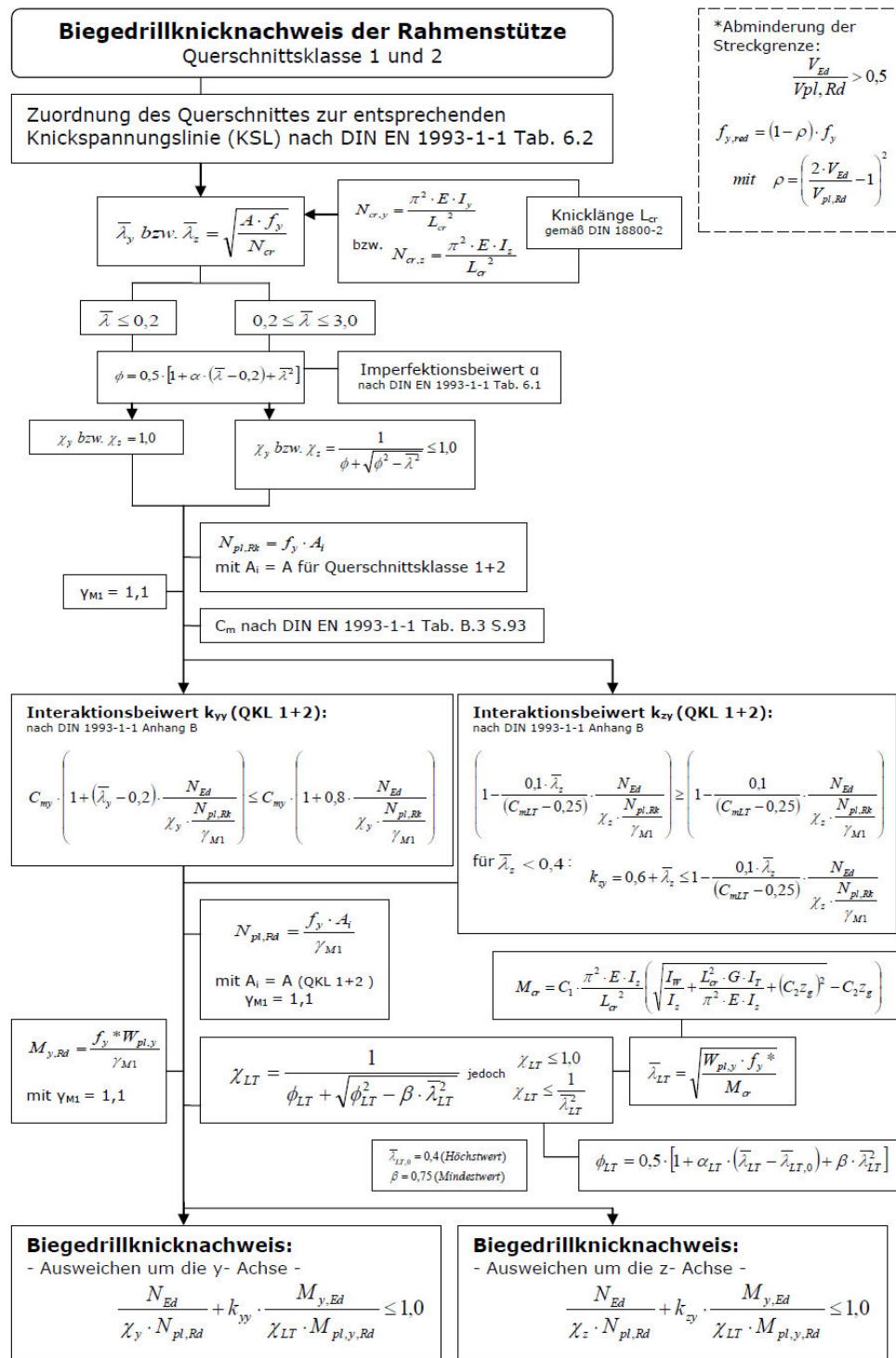
Quelle: DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.3

Tabelle 6.5 – Empfohlene Biegedrillknicklinien nach Gleichung (6.57)

Querschnitt	Grenzen	Biegedrillknicklinien
gewalztetes I-Profil	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

Tabelle 18: Knicklinien Biegedrillknicken

Quelle: DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5



Quelle: [2]

2.4 Theoretische Grundlagen der Anschlüsse

2.4.1 Schraubenverbindungen

In diesem Kapitel werden Schraubenarten und Schraubenformen, konstruktive Vorgaben und Rechenabläufe zwischen DIN 18800 und EC 3 untersucht.

2.4.1.1 Allgemeines

Durch die verschiedenen Variationen in Werkstoffen, Form, Art, Art der Vorspannung, Wirkungsweise und Beanspruchung ist die Schraube vielseitig einsetzbar. Somit zählt die sie zum häufigsten verwendeten Verbindungsmittel im Stahlbau. Weitere Gründe für die Beliebtheit sind z.B. das es sich hierbei um ein lösbares Verbindungsmittel handelt, so können z.B. Reparaturarbeiten oder Austauscharbeiten mit wenig Aufwand realisiert werden. Baugruppen können auf den Baustellen ohne hohen technischen Aufwand in ihren Endzustand montiert werden. Weiterhin ist ein wesentlicher Vorteil die Flexibilität, so können Schrauben gelenkige aber auch biegesteife Anschlüsse realisieren.

2.4.1.2 Schraubenwerkstoffe

Schrauben werden in Abhängigkeit ihres Werkstoffes in Festigkeitsklassen eingeteilt. Ab einer Festigkeitsklasse 8.8 spricht man von hochfesten Schrauben.

Der Werkstoff beeinflusst wesentlich die Beanspruchbarkeit auf Zug- oder Querkraft der Schraube.

Durch die Einführung des EC3 sind weitere Festigkeitsklassen in Deutschland eingeführt wurden. Die Werte für die jeweiligen Streckgrenzen und Zugfestigkeiten wurden nicht verändert, nur die Indizes der Formelzeichen sind zur DIN unterschiedlich.

de: Festigkeitsklasse		4.6	-	5.6	-	-	8.8	10.9
eu: Schraubenfestigkeitsklasse		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
Streckgrenze: N/mm ²	de: $f_{y,b,k}$	240	-	300	-	-	640	900
	eu: f_{yb}	240	320	300	400	480	640	900
Zugfestigkeit: N/mm ²	de: $f_{u,b,k}$	400	400	500	-	-	800	1000
	eu: f_{ub}	400	400	500	500	600	800	1000

Tabelle 19: Charakteristische Werte für Schraubenwerkstoffe

Quelle: [4]

2.4.1.3 Schraubenform

Im Wesentlichen unterscheidet man zwischen rohen Schrauben und den Passschrauben. Das metrische Schraubengewinde entspricht der DIN 13-1 und wird mit M und dem Durchmesser bezeichnet.

2.4.1.4 Art der Vorspannung

Bei diesem Verfahren der Vorspannung wird eine definierte Vorspannkraft kontrolliert aufgebracht. Dieser Vorgang kann auf unterschiedlichen Wegen geschehen. In der deutschen Norm sind das Drehmomenten-, Drehimpuls-, Drehwinkel-, und kombinierte Verfahren zulässig. Nach EC wird nur in kontrolliert voll vorgespannt und nicht voll vorgespannte Verbindungen unterschieden.

2.4.1.5 Art der Beanspruchung

In Abhängigkeit von der auf die Schraube wirkende Kraft unterscheidet man die Beanspruchungsarten. Wirkt die Kraft in Richtung der Schraubenachse, spricht man von einer Zugbeanspruchung. Druckkräfte können nicht von den Schrauben übertragen werden, diese werden durch die Auflageflächen der zu verbindenden Bleche aufgenommen.

Wirkt die Kraft quer zur Schraubenachse, wird die Schraube auf Abscheren und Biegung beansprucht. Das Grundmaterial ist auf Lochleibung beansprucht, da durch die wirkende Kraft ein Druck an den Kontaktflächen zwischen der Schraube und der Lochwand entsteht.

Wirken verschiedene Kräfte, so sind auch Kombinationen der Beanspruchungen möglich.

2.4.1.6 Vergleich DIN und EC

2.4.1.6.1 Ausführungsformen

In DIN EN 1993-1-8 werden die Nachweise für Schraubenverbindungen in Kategorien eingeteilt.

DIN 18800-1		DIN EN 1993-1-8	
Ausführungsformen			
Element 506		3.4	
SL	Scher-Lochleibungsverbindung	Kategorie A:	
SLP	Scher-Lochleibungs-Passverbindung	Scher-/Lochleibungsverbindung „Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden.“ ¹⁸	
SLV	Planmäßig vorgespannte Scher-Lochleibungsverbindung	Kategorie B:	
SLVP	Planmäßig vorgespannte Scher-Lochleibungs-Passverbindung	Scherverbindung/ Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit „In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 zu verwenden“ ¹⁹	
GV	Gleitfeste, planmäßig vorgespannte Verbindung	Kategorie C:	
		Scherverbindung/ Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit „In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 zu verwenden.“ ²⁰	

¹⁸ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S. 26

¹⁹ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S. 34

²⁰ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S. 34

Tabelle 20: Einteilung der Schrauben

Quelle: [4]

Element 506	3.4
GVP Gleitfeste, planmäßig vorgespannte Passverbindung	<p>Kategorie D: Zugverbindung/ nicht vorgespannt „Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden.“²¹</p> <p>Kategorie E: Zugverbindung/ Vorgespannt „In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 zu verwenden.“²²</p>

²¹ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S. 34

²² vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S. 34

Tabelle 21: Einteilung der Schrauben (Fortsetzung)

Quelle: [4]

2.4.1.6.2 Nennlochspiel

DIN 18800-1	DIN EN 1090-2																		
Nennlochspiel																			
Element 506	DIN EN 1090-2 Tabelle 11																		
Bei SL, SLV und GV Verbindungen gilt: $0,3 < \Delta d \leq \max. \Delta d$ bei SLP, SLVP und GVP Verbindungen gilt: $\Delta d \leq 0,3$ für den Größtwert des Nennlochspiels $\max. \Delta d$ gilt:	<p>Normale Größe:²³</p> <table> <tr> <th>Nennlochspiel</th><th>Nenndurchmesser</th></tr> <tr> <td>1,0 mm</td><td>M12, M14</td></tr> <tr> <td>2,0 mm</td><td>M16, M18, M20, M22, M24</td></tr> <tr> <td>3,0 mm</td><td>$\geq M 27$</td></tr> </table> <p>Übergröße:²⁴</p> <table> <tr> <th>Nennlochspiel</th><th>Nenndurchmesser</th></tr> <tr> <td>3,0 mm</td><td>M12, M14</td></tr> <tr> <td>4,0 mm</td><td>M16, M18, M20, M22</td></tr> <tr> <td>6,0 mm</td><td>M24</td></tr> <tr> <td>8,0 mm</td><td>$\geq M 27$</td></tr> </table>	Nennlochspiel	Nenndurchmesser	1,0 mm	M12, M14	2,0 mm	M16, M18, M20, M22, M24	3,0 mm	$\geq M 27$	Nennlochspiel	Nenndurchmesser	3,0 mm	M12, M14	4,0 mm	M16, M18, M20, M22	6,0 mm	M24	8,0 mm	$\geq M 27$
Nennlochspiel	Nenndurchmesser																		
1,0 mm	M12, M14																		
2,0 mm	M16, M18, M20, M22, M24																		
3,0 mm	$\geq M 27$																		
Nennlochspiel	Nenndurchmesser																		
3,0 mm	M12, M14																		
4,0 mm	M16, M18, M20, M22																		
6,0 mm	M24																		
8,0 mm	$\geq M 27$																		
<table> <tr> <th>max. Δd</th><th>Schaftdurchmesser</th></tr> <tr> <td>1,0 mm</td><td>$\leq M12$</td></tr> <tr> <td>2,0 mm</td><td>$< M 27$</td></tr> <tr> <td>3,0 mm</td><td>$\geq M27$</td></tr> </table>	max. Δd	Schaftdurchmesser	1,0 mm	$\leq M12$	2,0 mm	$< M 27$	3,0 mm	$\geq M27$											
max. Δd	Schaftdurchmesser																		
1,0 mm	$\leq M12$																		
2,0 mm	$< M 27$																		
3,0 mm	$\geq M27$																		

²³ vgl. DIN EN 1090-2 (2008), S. 40²⁴ vgl. DIN EN 1090-2 (2008), S. 40

Tabelle 22: Nennlochspiel

Quelle: [4]

2.4.1.6.3 Zusammenwirken verschiedener Verbindungsmittel

DIN 18800-1	DIN EN 1993-1-8
Zusammenwirken verschiedener Verbindungsmittel	
<p>Element 836</p> <p>„Werden verschiedene Verbindungsmittel in einem Anschluss oder Stoß verwendet, ist auf die Verträglichkeit der Formänderung zu achten. Gemeinsame Kraftübertragung darf angenommen werden bei:</p> <p>Nieten und Passschrauben oder GVP-Verbindungen und Schweißnähten oder Schweißnähten in einem oder in beiden Gurten und Nieten oder Passschrauben in allen übrigen Querschnittsteilen bei vorwiegender Beanspruchung durch Biegemoment M_y“²⁵</p>	<p>2.4</p> <p>„Werden zur Aufnahme von Scherbeanspruchungen verschiedene Verbindungsmittel mit unterschiedlichen Steifigkeiten verwendet, so ist in der Regel dem Verbindungsmittel mit der höchsten Steifigkeit die gesamte Belastung zuzuordnen. Eine Ausnahme von dieser Regel ist in 3.9.3 angegeben.“²⁶</p> <p>3.9.3</p> <p>„Als Ausnahme zu 2.4(3) kann der Gleitwiderstand von Verbindungen der Kategorie C in 3.4 mit vorgespannten Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 mit der Tragfähigkeit von Schweißnähten überlagert werden, vorausgesetzt, dass das endgültige Anziehen der Schrauben nach der vollständigen Ausführung der Schweißarbeiten erfolgt.“²⁷</p>

²⁵ vgl. DIN 18800-1 (2008), S. 90

²⁶ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S. 22

²⁷ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S. 36

Tabelle 23: Zusammenwirken verschiedener Verbindungsmittel

Quelle: [4]

2.4.1.6.4 Schaftdurchmesser

DIN 18800-1	DIN EN 1090-2
Schaftdurchmesser	
<p>Element 506:</p> <p>„Für Schraubenverbindungen mit zugbeanspruchten Schrauben sind mindestens Schrauben der Größe M12 zu verwenden. Schrauben, Muttern und Scheiben kleiner M12 dürfen nur bei einem Ausnutzungsgrad auf Zug kleiner als 50 % verwendet werden. Schrauben kleiner als M6 sind für tragende Verbindungen nicht zulässig.“²⁸</p>	<p>8.2.2</p> <p>„Der Nenndurchmesser des Verbindungsmittels muss bei Stahlbauverschraubungen mindestens M12 sein, sofern, in Verbindungen mit den zugehörigen Anforderungen nichts anderes festgelegt wird.“²⁹</p>
<p>Sowohl für DIN 18800-1 als auch DIN EN 1090-2 gilt:</p> <p>Konstruktive Empfehlung des Schaftdurchmessers d:</p> $d \approx \sqrt{50 \cdot \min t} - 2 \text{ [mm]}$	

²⁸ vgl. DIN 18800-1 (2008), S. 26

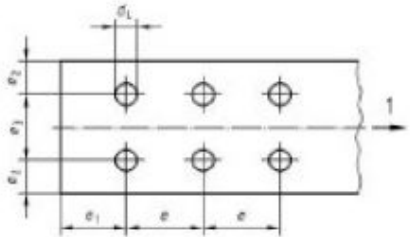
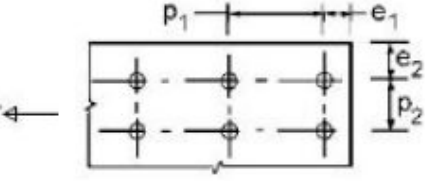
²⁹ vgl. DIN EN 1090-2 (2008), S. 60

Tabelle 24: Schaftdurchmesser

Quelle: [4]

2.4.1.6.5 Abstandsmaße

Minimale Abstände sind aus konstruktiven Gründen erforderlich, um einen einwandfreien Einbau von Schrauben zu ermöglichen, aber auch aus statischen Gründen werden minimale Abstände formuliert, um das frühzeitige Ausreißen von Schrauben unter geringer Last zu unterbinden. Um Spaltkorrosion zwischen den Blechteilen zu verhindern, sind maximale Abstände einzuhalten. Bei druckbeanspruchten Blechteilen besteht die Gefahr örtlichen Stabilitätsversagens, die ebenfalls eine Begrenzung des max. Lochabstands erfordert. Für die Rand- und Lochabstände, in deren Abhängigkeit die Grenzlochleibungskraft berechnet wird, werden auch max. Werte angegeben, ab deren Größe kein Einfluss mehr auf die Berechnung der Grenzlochleibungskraft besteht.

DIN 18800-1	DIN EN 1993-1-8
Abstandsmaße	
 <p>Abbildung 4 Schraubenabstand nach DIN 18800³⁰</p>	 <p>Abbildung 5 Schraubenabstand nach Eurocode³¹</p> <p>Die maximalen Werte gelten für Stahlkonstruktionen unter Verwendung der Stahlsorten nach DIN EN 10025, ausgenommen die Stahlsorten nach DIN EN 10025-5, die dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt sind³⁴.</p>

³⁰ vgl. DIN 18800-1 (2006), S. 29

³¹ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S.28

Tabelle 25: Abstandsmaße

Quelle: [4]

Tabelle 10 Schraubenrandabstände nach DIN³²

Randabstände		
Kleinsten Randabstand	In Kraftrichtung e_1	$1,2 d_L$
	Rechtwinklig zur Kraftrichtung e_2	$1,2 d_L$
Größter Randabstand	In und rechtwinklig zur Kraftrichtung e_1 bzw. e_2	$3 d_L$ oder $6 t$

Tabelle 11 Schraubenlochanstände nach DIN³³

Lochanstände		
Kleinsten Lochabstand	In Kraftrichtung e	$2,2 d_L$
	Rechtwinklig zur Kraftrichtung e_3	$2,4 d_L$
Größter Lochabstand, e bzw. e_3	Zur Sicherung gegen lokales Beulen	$6 d_L$ oder $12 t$
	Wenn lokale Beulgefahr nicht besteht	$10 d_L$ oder $20 t$

Generelle Abstandsmaße sind:

Tabelle 12 Schraubenrandabstände nach Eurocode³⁵

Randabstand		
min	e_1	$1,2 * d_o$
	e_2	
max	e_1	$4t + 40 \text{ mm}$
	e_2	

Tabelle 13 Schraubenlochanstände nach Eurocode³⁶

Lochanstand		
min	p_1	$2,2 * d_o$
	p_2	$2,4 * d_o$
max	p_1	$\min \left\{ \begin{array}{l} 14 * t \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right.$
	p_2	

t ist die Dicke des dünnsten außenliegenden Bleches in mm.

³⁴ vgl. Engelmann (2012), S. 4.7

³² vgl. DIN 18800-1 (2008), S. 29

³³ vgl. DIN 18800-1 (2008), S. 29

³⁵ vgl. Engelmann (2012), S. 4.7

³⁶ vgl. Engelmann (2012), S. 4.7

Tabelle 26 Abstandsmaße (Fortsetzung)

Quelle: [4]

2.4.1.6.6 Formelzeichen

DIN 18800-1		DIN EN 1993-1-1 und 1-8
Wichtige Formelzeichen		
Schaftdurchmesser	d_{Sch}	d
Lochdurchmesser	d_L	d_0
Bruttoquerschnittsfläche	A_{Sch}	A
Spannungsquerschnittsfläche	A_{Sp}	A_S
Anzahl der Scherflächen	m	n
Streckgrenze Schraube	$f_{y,b,k}$	f_{yb}
Streckgrenze Grundwerkstoff	f_y	f_y
Zugfestigkeit Schraube	$f_{u,b,k}$	f_{ub}
Zugfestigkeit Grundwerkstoff	f_u	f_u
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	γ_{M2}
Grenzabscherkraft	$V_{a,R,d}$	$F_{v,R,d}$
Grenzlochleibungskraft	$V_{l,R,d}$	$F_{b,R,d}$
Grenzzugkraft	$N_{R,d}$	$F_{t,R,d}$
Grenzdurchstanzkraft	-----	$B_{p,R,d}$

Tabelle 27: Formelzeichen

Quelle: [4]

2.4.1.6.7 Abscheren

Bei Scher- / Lochleibungsverbindungen sind laut Eurocode zwei Nachweise zu führen, der Scher- nachweis für die Schraube und der Lochleibungsnachweis für das umgebende Blechmaterial.

DIN 18800-1	DIN EN 1993-1-1 und 1-8
Abscheren	
$V_{2,Rd} = A * m * \alpha_2 * \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_M}$ $\frac{V_2}{V_{2,Rd}} \leq 1$	$F_{v,Rd} = n * \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}}$ $\frac{F_v}{F_{v,Rd}} \leq 1$
$\gamma_M = 1,1$ $m = \text{Schnittigkeit der Verbindung}$	$\gamma_{M,2} = 1,25$ $n = \text{Schnittigkeit}$
$\alpha_a = 0,6$ für Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8 $\alpha_a = 0,55$ für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 und Abscheren des Schaftes $\alpha_a = 0,44$ für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 und Abscheren des Gewindes	$\alpha_v = 0,6$ bei abgesicherten Schaft und allen Festigkeitsklassen $\alpha_v = 0,6$ bei abgesicherten Gewinde und den Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8 $\alpha_v = 0,5$ bei abgesicherten Gewinde und den Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9
$A = A_{Schh}$ wenn der Schaft abschert $A = A_{Sp}$ wenn das Gewinde abschert	$A = A$ wenn der Schaft abschert $A = A_s$ wenn das Gewinde abschert
$f_{u,b,k}$ ist nach Anlage 1 zu ermitteln A_{Sch} und A_{Sp} ist nach Anlage 2 zu ermitteln.	$f_{u,b}$ ist nach Anlage 1 zu ermitteln A_{Sch} und A_{Sp} ist nach Anlage 2 zu ermitteln.

³⁷ vgl. Engelmann (2012), S. 4.11

Tabelle 28: Abscheren

Quelle: [4]

2.4.1.6.8 Lochleibung

Die Lochleibungstragfähigkeit ist im Wesentlichen von der Konstruktion und der Geometrie des Anschlusses abhängig. Ein wichtiger Parameter ist hier die Größe der Bohrung, aber auch die Loch- und Randabstände.

DIN 18800-1 ³⁸	DIN EN 1993-1-1 und 1-8 ³⁹
Lochleibung	
$V_{l,Rd} = t \cdot d \cdot \sigma_{l,Rd}$ $\sigma_{l,Rd} = \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$ $V_{l,Rd} = t \cdot d \cdot \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$ $\frac{V_l}{V_{l,Rd}} \leq 1$	$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$ $\frac{F_b}{F_{b,Rd}} \leq 1$
<p>Wenn $e_2 \geq 1,5 \cdot d_L$ und $e_3 \geq 3,0 \cdot d_L$ gilt:</p> $\alpha_1 = \min \begin{cases} 1,10 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,3 \\ 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 \end{cases}$	$\gamma_{M2} = 1,25$ $\alpha_b = \min \begin{cases} \frac{\alpha_d}{f_{ub}} \\ \frac{f_u}{1,0} \end{cases}$
<p>Wenn $e_2 = 1,2 \cdot d_L$ und $e_3 = 2,4 \cdot d_L$ gilt:</p> $\alpha_1 = \min \begin{cases} 0,73 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,2 \\ 0,72 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,51 \end{cases}$	<p>Ermittlung Beiwert k_1 quer zur Kraftrichtung liegende Schrauben am Rand gilt:</p> $k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{cases}$ <p>Innen gilt:</p> $k_1 = \min \begin{cases} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{cases}$

³⁸ vgl. DIN 18800-1(2008), S. 73 ff

³⁹ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S.31

Tabelle 29: Lochleibung

Quelle: [4]

Der Lochleibungsparameter ist in Abhängigkeit des Verhältnisses der Zugfestigkeit der Schrauben und der Zugfestigkeit des Blechmaterials zu ermitteln. Dieses Verhältnis ist nur zu berücksichtigen, wenn im Ausnahmefall das Schraubenmaterial von geringerer Güte ist als das Blechmaterial. Bei üblichen Konstruktionen ist dieser Parameter immer größer 1 und damit nicht von Relevanz.

	<p>Ermittlung Beiwert α_d</p> <p>In Krafrichtung liegende Schrauben am Rand gilt:</p> $\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$ $e_1 \geq 1,2 \cdot d_0$ <p>Innen gilt:</p> $\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25$ $p_1 \geq 2,2 \cdot d_0$
$f_{u,k}$ ist nach Anlage 2 zu ermitteln.	f_u ist nach Anlage 2 zu ermitteln.

Tabelle 30: Lochleibung (Fortsetzung)

Quelle: [4]

2.4.1.6.9 Zugbeanspruchung

Bei Schraubenverbindungen mit Zugbelastung wird im Eurocode in die Kategorie D (nicht vorgespannt) und in die Kategorie E (vorgespannt) unterschieden. Ist ein Ermüdungsnachweis für die Verbindung notwendig, darf nur die Kategorie E ausgeführt werden. Die Nachweisführung für den Tragsicherheitsnachweis ist sonst für beide Kategorien gleich. Nach DIN EN 1993-1-8 ist neben dem Nachweis der Zugtragfähigkeit der Schrauben auch der Nachweis des der Schraube zu führen.

DIN 18800-1 ⁴⁰	DIN EN 1993-1-1 und 1-8 ⁴¹
Zug	
$N_{R,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} A_{Sch} * \sigma_{1,R,d} \\ A_{Sp} * \sigma_{2,R,d} \end{array} \right.$	$F_{t,R,d} = k_2 * \frac{f_{ub}}{\gamma_M} * A_s$
$\sigma_{1,R,d} = \frac{f_{y,b,k}}{1,1 * \gamma_M}$ $\sigma_{2,R,d} = \frac{f_{u,b,k}}{1,25 * \gamma_M}$ $\gamma_M = 1,1$	$k_2 = 0,9$ bei Senkkopfschrauben 0,63 $\gamma_{M2} = 1,25$
$f_{y,b,k}$ ist nach Anlage 1; A_{Sch} und A_{Sp} ist nach Anlage 2 zu ermitteln.	f_{ub} ist nach Anlage 1; A_s ist nach Anlage 2 zu ermitteln.

⁴⁰ vgl. DIN 18800-1(2008), S. 75 ff

⁴¹ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S.31

Tabelle 31: Zugbeanspruchung

Quelle: [4]

2.4.1.6.10 Durchstanzen

Bei konstruktiv sinnvollen Abmessungen wird der Durchstanznachweis nicht maßgebend. Hält man die konstruktive Regel $d=(50 \cdot t_{\min})^{0,5} \cdot 2$ (in mm) mit d...Schaft-/Gewindedurchmesser der Schraube ein, wird immer der Zugnachweis gegenüber dem Durchstanznachweis maßgebend sein.

DIN 18800-1	DIN EN 1993-1-1 und 1-8
Durchstanzen	
Dieser Versagensfall ist in der DIN 18800 nicht geregelt.	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$
	$\frac{F_{tEd}}{B_{p,Rd}} \leq 1$
	$d_m = \frac{e + s}{2}$ <p>d_m = Mittelwert aus Schlüsselweite s und dem Eckmaß e der Mutter oder des Schraubenkopfes.</p> <p>t_p = Blechdicke unter Mutter oder Schraubenkopf.</p> <p>$\gamma_{M2} = 1,25$</p> <p>f_u ist nach Anlage 3 zu ermitteln</p>

Tabelle 32: Durchstanzen

Quelle: [4]

2.4.1.6.11 Zug und Abscheren

Bei kombinierter Beanspruchung auf Abscheren und Zug ist im Eurocode folgender Interaktionsnachweis zu führen:

DIN 18800-1 ⁴²	DIN EN 1993-1-1 und 1-8 ⁴³
Zug und Abscheren	
Interaktion: $\left[\frac{N}{N_{R,d}} \right]^2 + \left[\frac{V_2}{V_{2,R,d}} \right]^2 \leq 1$	Interaktion: $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$
Hinweis: Der Nachweis der Interaktion darf entfallen, wenn: $\frac{N}{N_{R,d}} < 0,25 \text{ oder } \frac{V_2}{V_{2,R,d}} < 0,25$	

⁴² vgl. DIN 18800-1(2008), S. 76 ff.

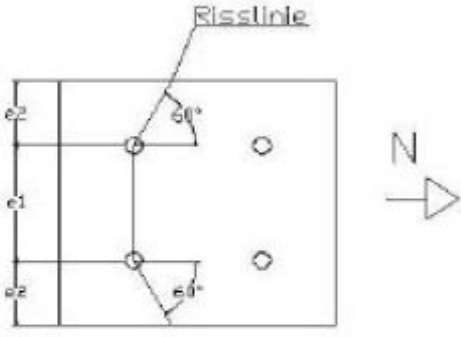
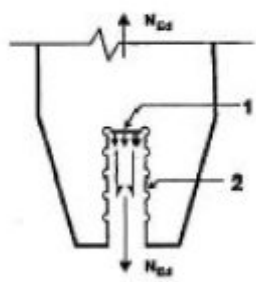
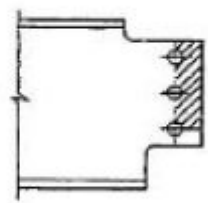
⁴³ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S.33

Tabelle 33: Zug und Abscheren

Quelle: [4]

2.4.1.6.12 Risslinie/Blockversagen

In Lasteinleitungsbereichen von Schraubenanschlüssen ist das Blockversagen von Schraubengruppen im Eurocode nachzuweisen. An den zur Belastungsrichtung parallelen Risslinien des Versagensblockes ist das Schubversagen des Bleches anzusetzen, an den zur Belastungsrichtung normalen Risslinien Zugversagen.

DIN 18800-1	DIN EN 1993-1-1 und 1-8
<p>Risslinie</p>  <p>Abbildung 6 Risslinie (eigene Darstellung)</p> $\frac{\sigma_d}{\sigma_{R,d}} \leq 1$	<p>Blockversagen</p> <p>Bei zentrischer Belastung:</p> $V_{eff,1,R,d} = A_{nt} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$  <p>Abbildung 7 Zentrische Belastung⁴⁴</p> <p>Erläuterung zum Bild: 1 = A_{nt} 2 = A_{nv}</p>
$\sigma_d = \frac{N}{A_{Netto}}$ $A_{Netto} = \left(\left(e_1 + 2 \cdot \frac{e_2}{\sin 60^\circ} \right) - 2 \cdot d_0 \right) \cdot t$ <p>t = Dicke Blech</p> <p>wenn $\frac{A_{Brutto}}{A_{Netto}} < 1,2$, darf der Nachweis mit A_{Brutto} geführt werden</p>	<p>Bei exentrischer Belastung:</p> $V_{eff,2,R,d} = 0,5 \cdot A_{nt} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$  <p>Abbildung 8 Exentrische Belastung⁴⁵</p>

⁴⁴ vgl. Petersen (2012), S. 34

Tabelle 34: Risslinie/Blockversagen

Quelle: [4]

$\sigma_{R,d} = \frac{f_{u,k}}{\gamma_f * \gamma_M}$	$A_{nt} = \text{zugbeanspruchte Netto}$ – Querschnittsfläche $A_{nv} = \text{schubbeanspruchte Netto}$ – Querschnittsfläche
$\gamma_f = 1,25$ $\gamma_M = 1,1$	$\gamma_{M0} = 1,0$ $\gamma_{M2} = 1,25$
$f_{u,k}$ ist nach Anlage 2 zu ermitteln.	f_y ist nach Anlage 2 zu ermitteln. f_u ist nach Anlage 2 zu ermitteln.

⁴⁵ vgl. Petersen (2012), S. 35

Tabelle 35: Risslinie/Blockversagen (Fortsetzung)

Quelle: [4]

2.4.2 Schweißverbindungen

2.4.2.1 Allgemeines

Die Schweißverbindung ist eine nichtlösbare Verbindung. Durch Verfahren wie das Elektrohandschweißen, Schutzgasschweißen, aber auch das Unterpulverschweißen werden durch den Eintrag von Wärmeenergie und / oder Druck die zu verbindenden Werkstoffe miteinander vereint.

2.4.2.2 Vergleich zwischen DIN und Eurocode- Konstruktive Festlegungen

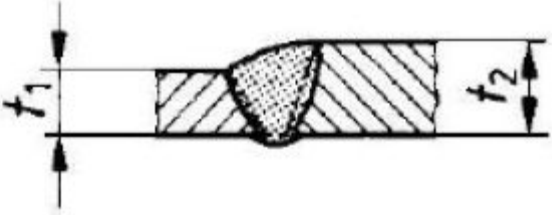
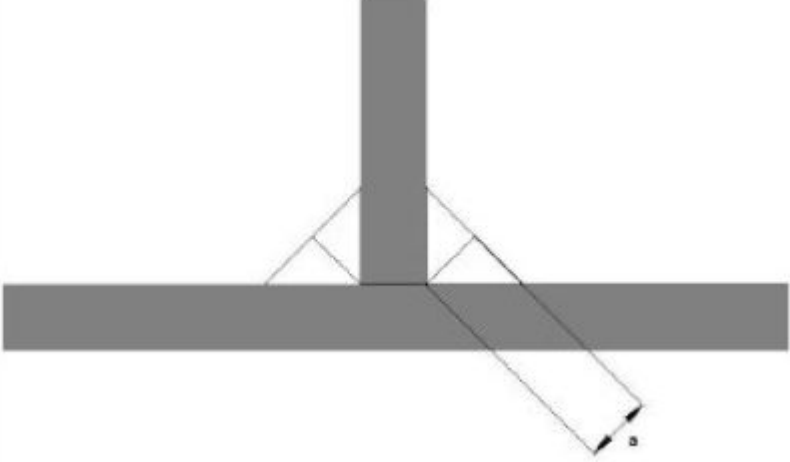
	DIN 18800-1	DIN EN 1993-1-1 und 1-8
Konstruktive Festlegungen		
Mindestblechdicke	$t \geq 3\text{mm}^{49}$	$t \geq 4\text{mm}^{50}$
Minimal wirksame Kehlnahtlänge	$l \geq 6 \cdot a$ $l \geq 30\text{mm}$	$L_w \geq 6 \cdot a_w$ $L_w \geq 30\text{mm}$
Maximal wirksame Kehlnahtlänge	für S235/S275/S355: $l \geq 150 \cdot a$ Für S420/S450/S460: $l \geq 100 \cdot a$	$L_w \leq 150 \cdot a_w$ Sonst wird Grenzkraft mit β_{Lw} abgemindert $\beta_{Lw} = 1,2 - \frac{0,2 \cdot L_j}{(150 \cdot a_w)}$ $\beta_{Lw} \leq 1,0$
Grenzwert für Kehlnahtdicke	$2\text{mm} \leq a \leq 0,7 \cdot \min t$ $a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$	$3\text{mm} \leq a_w \leq 0,7 \cdot t_{\min}$ $a_w \geq \sqrt{\max t} - 0,5$
Wirksame Nahtfläche	$A_w = \sum a \cdot l$	$A_w = \sum a_w \cdot l_{\text{eff}}$ die wirksame Länge l_{eff} besteht aus der Gesamtläng in voller Nahtdicke abzüglich $2 \cdot a$
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_M=1,1$	$\gamma_{M,2}=1,25$
Korrelationsbeiwert	nicht vorhanden	β_w

⁴⁹vgl. DIN 18800-1(2008), S. 11

⁵⁰vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S.42

Tabelle 36: Konstruktive Festlegungen

Quelle: [4]

Ermittlung Nahtdicke	<p>Stumpfnah:</p> 
	<p>$a = \min t = t_1$</p> <p>Kehlnah:</p> 

⁵¹ vgl. DIN 18800-1(2008), S. 37

Tabelle 37: Konstruktive Festlegungen (Fortsetzung)

Quelle: [4]

2.4.2.3 Berechnung nach DIN

2.4.2.3.1 Stumpfnah

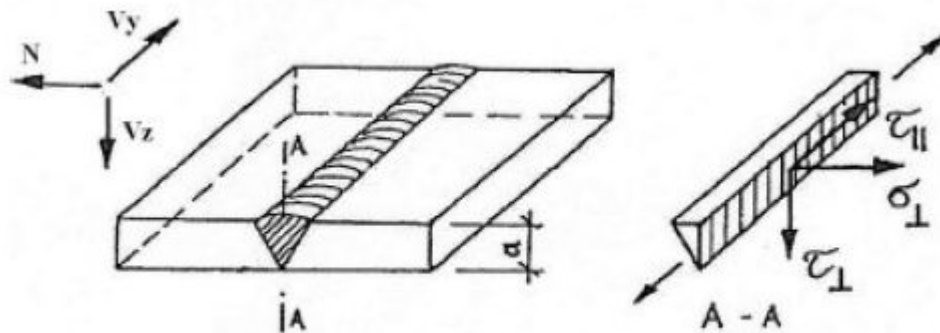


Abbildung 2: Stumpfnah

Quelle: [4]

Spannung	Beanspruchung	Formel ⁶⁴
σ_{\perp}	N	$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A_w}$
τ_{\perp}	V_z	$\tau_{\perp} = \frac{V_z}{A_w}$
τ_{\parallel}	V_y	$\tau_{\parallel} = \frac{V_y}{A_w}$

Tabelle 38: Spannungen und äußere Einflüsse

Quelle: [4]

Grenzsweißnahtspannung					
$\sigma_{wR,d} = \alpha_w \cdot \frac{f_{yk}}{Y_M}$					
$Y_M = 1,1$					
f_{yk} ist aus Anlage 3 zu entnehmen					
Ermittlung Beiwert α_w :					
Nahtart	Beanspruchungsart	Baustahl			
		S 235	S 275	S 355	S 420/ S 460
Stumpfnah	Druck	1,0	1,0	1,0	1,0
	Zug, Schub	0,95	0,85	0,80	0,70
Kehlnah	Druck, Zug Schub				

Tabelle 39: Bestimmung Grenzsweißnahtspannung

Quelle: [4]

Nachweise	
	$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$
	$\frac{\tau_{\perp}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$
	$\frac{\tau_{\parallel}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$
	$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$
wobei:	$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2}$

⁵⁴ vgl. Wagenknecht (2009), S. 59

⁵⁵ vgl. DIN 18800-1(2008), S. 82

Tabelle 40: Nachweise Stumpfnah

Quelle: [4]

2.4.2.3.2 Kehlnaht

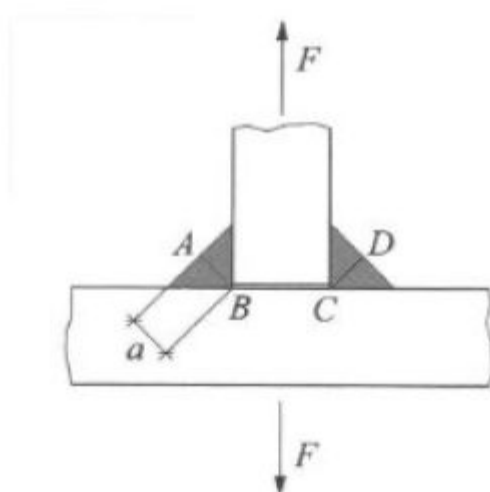


Abbildung 3: Kehlnaht

Quelle: [4]

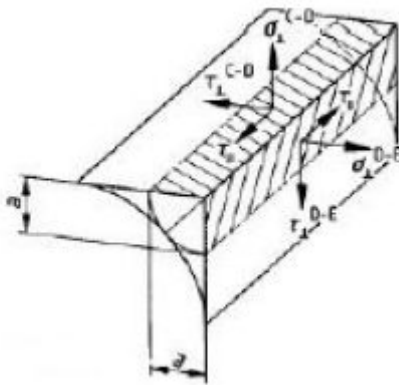


Abbildung 4: Schweißnahtspannungen der Kehlnaht

Quelle: [4]

Bei der Nachweisführung wird die Grenzschweißnahtspannung $\sigma_{w,R,d}$ nach Tabelle 37 bestimmt.

Nachweise	
	$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$
	$\frac{\tau_{\perp}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$
	$\frac{\tau_{\parallel}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$
	$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1$
wobei:	$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2}$

⁵⁸ vgl. DIN 18800-1(2008), S. 87

⁵⁹ vgl. Engelmann (2012), S. 4.48

Tabelle 42: Nachweise Kehlnaht

Quelle: [4]

2.4.2.4 Berechnung nach Eurocode (DIN EN 1993-1-1, 1-8/NA)

In der DIN EN 1993 unterscheidet man zwei Verfahren für die Nachweisführung, dem richtungsbezogenem Verfahren und dem vereinfachten Verfahren.

2.4.2.4.1 Richtungsbezogenes Verfahren

Die Grundlage für diese Nachweisführung bilden die vorhandenen Spannungen. Durch die Überlagerung dieser Spannungsanteile ermittelt man die nötige Vergleichsspannung.

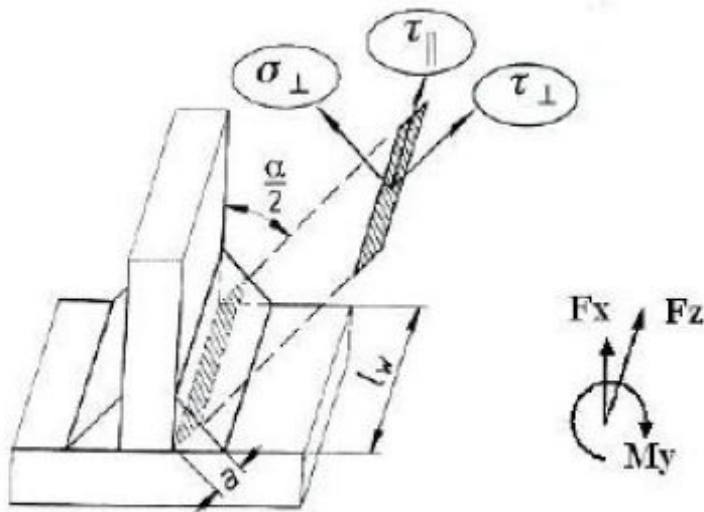


Abbildung 5: Berechnungsmodell richtungsbezogenes Verfahren

Quelle: [4]

Beanspruchung	Spannung
$F_{z,Ed}$	$\tau_{\parallel} = \frac{F_{z,Ed}}{\sum a \cdot l_w}$

Tabelle 42: Einwirkung durch Schub längs der Naht

Quelle: [4]

Beanspruchung	Spannung
$F_{x,Ed}$	$\sigma_{\perp} = \frac{F_{x,Ed}}{\sum a * l_w} * \sin \frac{\alpha}{2}$ $\tau_{\perp} = \frac{F_{x,Ed}}{\sum a * l_w} * \cos \frac{\alpha}{2}$
$M_{y,Ed}$	$\sigma_{\perp} = \frac{M_{y,Ed}}{\sum a * \frac{l_w^2}{6}} * \sin \frac{\alpha}{2}$ $\tau_{\perp} = \frac{M_{y,Ed}}{\sum a * \frac{l_w^2}{6}} * \cos \frac{\alpha}{2}$

⁶⁰ vgl. Engemann (2012), S. 4.49

⁶¹ vgl. Engemann (2012), S. 4.49

Tabelle 43: Einwirkung durch Zug/Druck quer zu der Naht
Quelle: [4]

Ermittlung $\sigma_{\perp w, Rd}$
$\sigma_{\perp w, Rd} = 0,9 * \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$
$\gamma_{M2} = 1,25$
f_u ist nach Anlage 3 zu ermitteln.

⁶² vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S.47 ff

⁶³ vgl. DIN EN 1993-1-8 (2010), S.47 ff

Tabelle 44: Ermittlung Grenzscheißnahtspannung
Quelle: [4]

Ermittlung $\sigma_{wv,Rd}$				
$\sigma_{wv,Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$				
$\gamma_{M2} = 1,25$				
f_u ist nach Anlage 3 zu ermitteln.				
Ermittlung Beiwert β_w :				
Profil:	Baustahl			
	S 235	S 275	S 355	S 420/ S 460
	Walzprofil			
	Hohlprofil- kalt gefertigt	0,80	0,85	0,9
	Hohlprofil- warm gefertigt			1,0

Tabelle 45: Ermittlung $\sigma_{wv,Rd}$

Quelle: [4]

Nachweis
$\frac{\sigma_{wv,Ed}}{\sigma_{wv,Rd}} \leq 1$
$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp,Rd}} \leq 1$
wobei:
$\sigma_{wv,Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_1^2 + \tau_2^2)}$

Tabelle 46: Nachweis richtungsbezogenes Verfahren

Quelle: [4]

2.4.2.4.2 Vereinfachtes Verfahren

Die Grundlage für diese Nachweisführung bilden die vorhandenen Schnittkräfte.

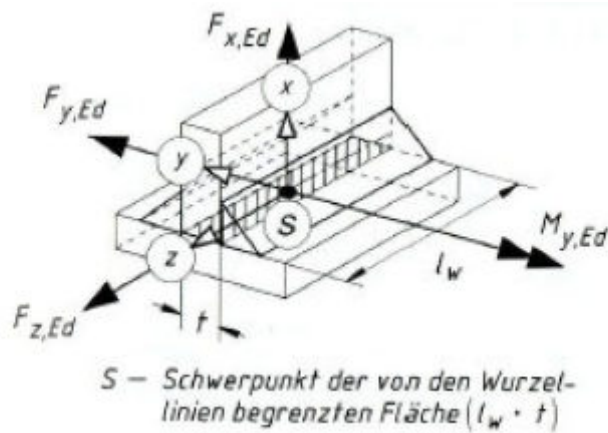


Abbildung 6: Beanspruchungen vereinfachtes Verfahren

Quelle: [4]

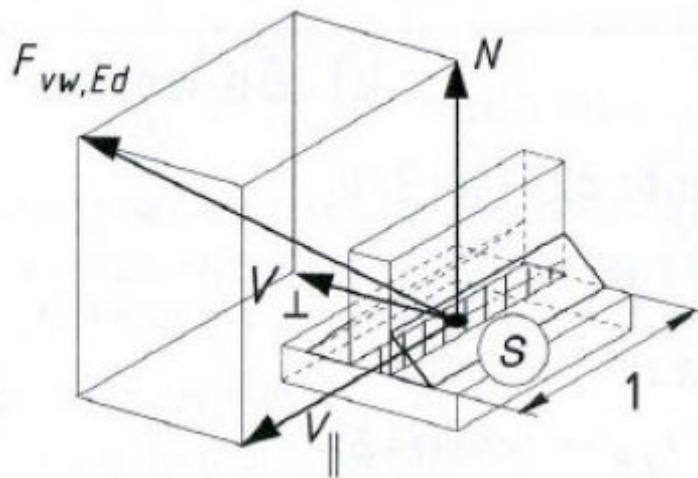


Abbildung 7: Berechnungsmodell vereinfachtes Verfahren

Quelle: [4]

Beanspruchungen
$N = \frac{F_{x,Ed}}{I_w} \pm \frac{M_{y,Ed}}{\frac{I_w}{6}}$
$V_{\perp} = \frac{F_{y,Ed}}{I_w}$
$V_{\parallel} = \frac{F_{z,Ed}}{I_w}$

⁶⁷ vgl. Engelmann (2012), S. 4.49

⁶⁸ vgl. Engelmann (2012), S. 4.49

Tabelle 47: Berechnung der Einwirkung vereinfachtes Verfahren

Quelle: [4]

Ermittlung $F_{vw,Rd}$
$F_{vw,Rd} = \sum \frac{a}{\sqrt{3}} * \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$
$\gamma_{M2} = 1,25$
f_u ist aus Anlage 3 zu entnehmen

⁶⁹ vgl. Engelmann (2012), S. 4.53

⁷⁰ vgl. Engelmann (2012), S. 4.52

Tabelle 48: Ermittlung $F_{vw,Rd}$

Quelle: [4]

Nachweis	
	$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} \leq 1$
wobei:	$F_{vw,Ed} = \sqrt{N^2 + V_{\perp}^2 + V_{\parallel}^2}$

Tabelle 49: Nachweis vereinfachtes Verfahren

Quelle:[4]

2.5 Auswertung des Normenvergleichs

Die voran gegangenen Kapitel stellen die Unterschiede, sowie Gemeinsamkeiten zwischen DIN 18800 und Eurocode dar.

In Bezug auf die Werkstoffe ist festzustellen, dass im EC 3 Stähle mit größeren Streckgrenzen zu finden sind. Der Grund liegt in dem erweiterten Anwendungsbereich. Auch die Streckgrenzen beider Normen unterscheiden sich. Durch die Umstellung des SI-Systems von $g=10\text{m/s}^2$ auf $g=9,81\text{m/s}^2$ ändert sich zum Beispiel für S235 mit einer Blechdicke $t \leq 40\text{mm}$ die Streckgrenze von $f_{y,k}=240\text{N/mm}^2$ auf $f_{y,k}=235\text{N/mm}^2$.

Untersucht man die Profilquerschnitte, werden diese nach Eurocode über die Momenten-Krümmungs-Beziehungen, welche sich in Abhängigkeit mit der Schlankheit (c/t - Verhältnis) der druckbeanspruchten Querschnittsteile stehen, in 4 Querschnittsklassen eingeteilt, welche wiederum das anzuwendende Nachweisverfahren bestimmen. In der DIN betrachtete man das b/t -Verhältnis der Querschnitte, um Aussagen über die Beulgefährdung treffen zu können.

In der Nachweisführung werden bei beiden Normen Bemessungswerte betrachtet. Die charakteristischen Werte werden dazu mit Kombinationsbeiwerten und Teilsicherheitsbeiwerten, welche sich teilweise in den Normen unterscheiden, versehen.

Beide Normen haben die gleichen Arten der Nachweisführung (el/el, el/pl, pl/pl). Im Eurocode, wie auch in der DIN, ist ein Interaktionsnachweis notwendig, sobald an der zu untersuchenden Stelle mehrere Schnittgrößen gleichzeitig vorhanden sind.

Im Eurocode existieren mehr Schraubenfestigkeitsklassen, die Werte für die Streckgrenzen und Zugfestigkeiten haben sich nicht verändert. Auch in der Art der Vorspannungen der Schrauben treten Neuheiten auf, so werden das Drehmomenten-, Drehimpuls-, Drehwinkel- und kombinierte Verfahren abgelöst und durch die Einteilung in kontrolliert voll vorgespannt und nicht voll vorgespannte Verbindungen

3 Berechnung nach Eurocode

3.1 Vorstellung der zu untersuchenden Anlage

Im Zuge der Sanierung und dem Umbau einer ehemaligen Malzfabrik in Deutschland 06112 Halle/Saale zu einem Wohnhaus, wird baurechtlich ein zweiter Rettungsweg benötigt, welcher keiner brandschutztechnischen Auflagen unterliegt.

Der Einbauort der stählernen Fluchttreppenanlage befindet sich in einer vorhandenen Baunische des Objektes, ca. 60 m von dem Giebel der Fabrik entfernt.

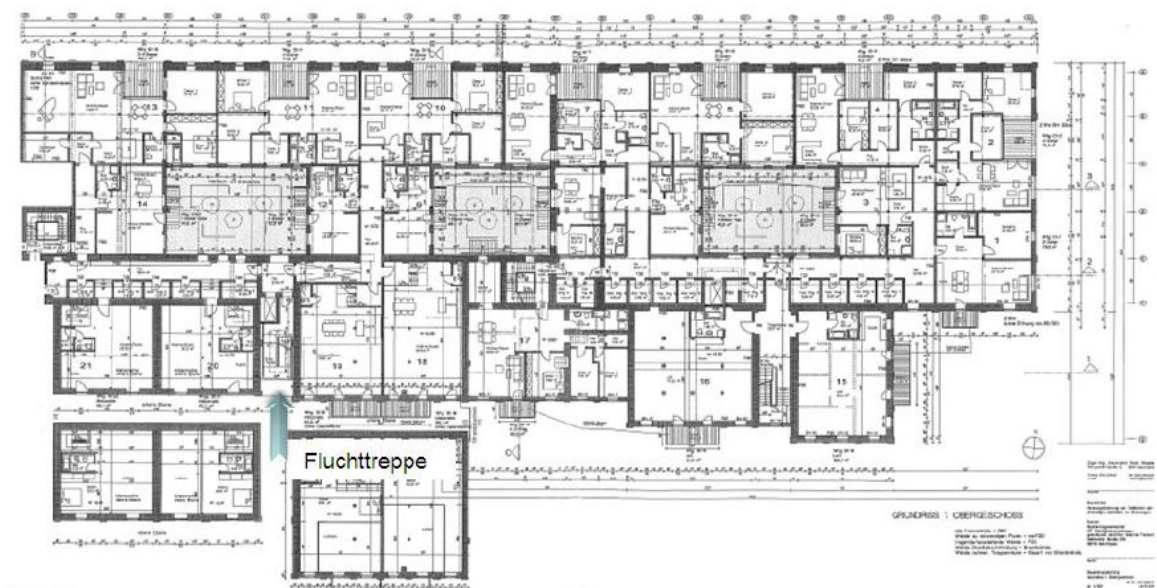


Abbildung 8: Übersicht Lage der Fluchttreppe am Gesamtbauwerk

Quelle: [1]

Die vorhandene Bausubstanz ist in ihrer Tragfähigkeit unbekannt, es wird von einem Mauerwerk mit MZ10 in MGII ausgegangen.

In der Nachweisführung wird versucht, die auf das Mauerwerk wirkenden Stützgrößen gering zu halten.

Die Wirksamkeit der aussteifenden Decken kann nicht eingeschätzt werden.

Einzuleitende horizontale Kräfte in der Deckenebene und dem Mauerwerk sollten gering gehalten werden, aufgrund erkennbarer Stabanker aus Eisen.

Die Einwirkungen auf das vorhandene Mauerwerk aus den Stützreaktionen der Fluchttreppenanlage kann nur lokal nachgewiesen werden, deren Weiterleitung aber nicht.

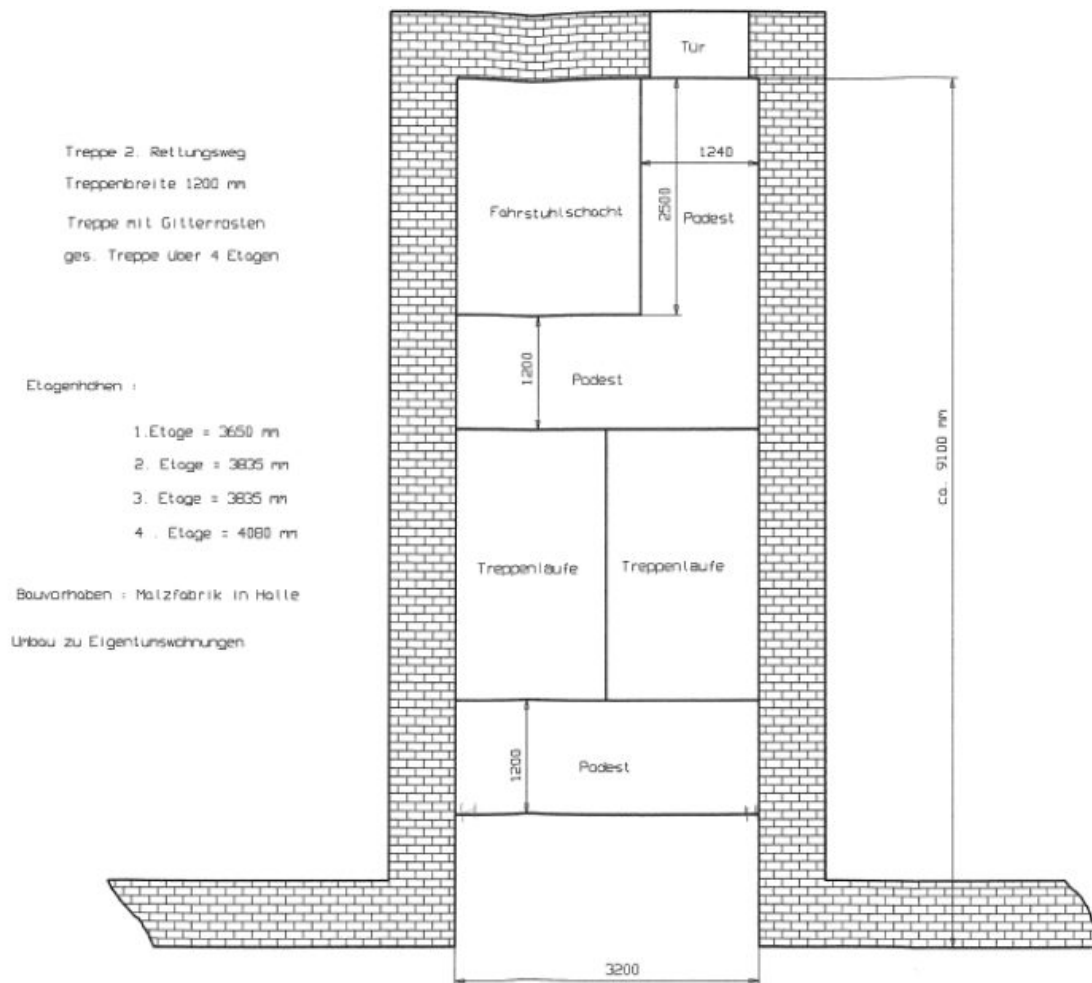


Abbildung 9: lokale Einbausituation der Fluchttreppe in der Einbaunische
Quelle: [1]

Das vorhandene Dach der Malzfabrik hat eine Dachneigung $< 15^\circ$.

Die zu planende Fluchttreppenanlage soll ohne Dach oder Wandverkleidung ausgeführt werden und wird somit frei bewittert.

Die gewählten Stahlprofile sind für die tragende Konstruktion genormte, gewalzte und offene Profile und für die Geländer entsprechend genormte, geschlossene Profile.

Als vorhandene Stahlsorte wurde der S235 JR (1.0038) nach DIN EN10025-2:2005-04 als ausreichend angenommen.

Z-Güteauswahl ist derzeit nicht notwendig und vorgesehen.

Sämtliche Stahlbauteile, die senkrecht zur Walzrichtung auf Zug beansprucht werden, sind einer Ultraschalluntersuchung zwecks Dopplungsüberprüfung zu unterziehen.

Der Stufen- bzw. Podestbelag besteht aus Gitterrosten der Maschenweite 30x30 und 30x3 Tragstäben der Fa. Lichtgitter mit Rutschklasse R13.

Die Nachweisführung der Gitterroste entzieht sich der Aufgabenstellung, da diese von einem speziellen Hersteller erfolgt. Insbesondere mit der Alternativlast für Einzelbauteile mit 2 kN Einzellast. Laut beigefügten Belastungstabellen sind die oben angegebenen Gitterroste für 2kN Einzellast und für 5kN/m² Flächenlast ausgelegt. Es erfolgt lediglich die Kennzeichnung der Haupttragrichtung.

Eine Nutzung der stabilisierenden Wirkung der Gitterroste unter bestimmten Bedingungen nach LGA-Bericht erfolgt nicht.

Weitere Angaben zum Einbauort:

Bauort: Halle/ Saale in Sachsen-Anhalt mit Höhe über NN: 71m-136m
Windzone: 2 im Bebauungsgebiet
Schneelastzone: II
Erdbebenzone: 0

Korrosionsschutz:

Die Stahlkonstruktion ist komplett feuerverzinkt mit mind. 100µm Zinkdicke auszuführen. Es wird empfohlen diese Zinkschicht mit einem Anstrichsystem, nach der Wasserstoffauslagerung durch Wärmebehandlung zu schützen. Sämtliche Dübelverbindungen sind mit Edelstahl rostfrei entsprechend Zulassung auszuführen. Sämtliche Schraubenverbindungen aus nichtrostfreiem Stahl sind feuerverzinken.

Fundamente und Baugrund:

Der Baugrund ist in seiner Struktur und Tragfähigkeit unbekannt. Seine Festigkeit wird mit 150 kN/m² rechnerisch angenommen.

Die Gründung muss frostsicher mit einer Einbindetiefe von mind. 1,2m sein. Rechnerisch werden Stahlbetonbalken bzw. Einzelblockfundamente angesetzt.

Schweißen:

Sämtliche Nahtvorbereitungen, Auswahl des Schweißverfahrens, Schweißreihenfolge, Auswahl Schutzgas, Zusatzwerkstoff und mögliche Wärmebehandlungen sind von einem Schweißfachingenieur festzulegen.

Es werden lediglich die Schweißnahtart und deren Dimensionen hier festgeschrieben.

Es muss eine gültige Herstellerqualifikation nach DIN 18800-7:2008 und DIN EN ISO 17660-1 bzw. -2:2006 vorliegen.

Schraubenverbindungen:

Schraubenverbindungen werden für biegesteife Anschlüsse in vorzuspannende hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 feuerverzinkt geplant.

Die HV- Schrauben und Zubehörteile, wie Unterlegscheiben und Muttern sind nur neuwertig als Schraubengarnitur nach EN 14399-4 zu verbauen.

Das Aufbringen der Vorkraft muss entsprechend dem ausgewählten Vorspannverfahren nach EN 1090-2 erfolgen.

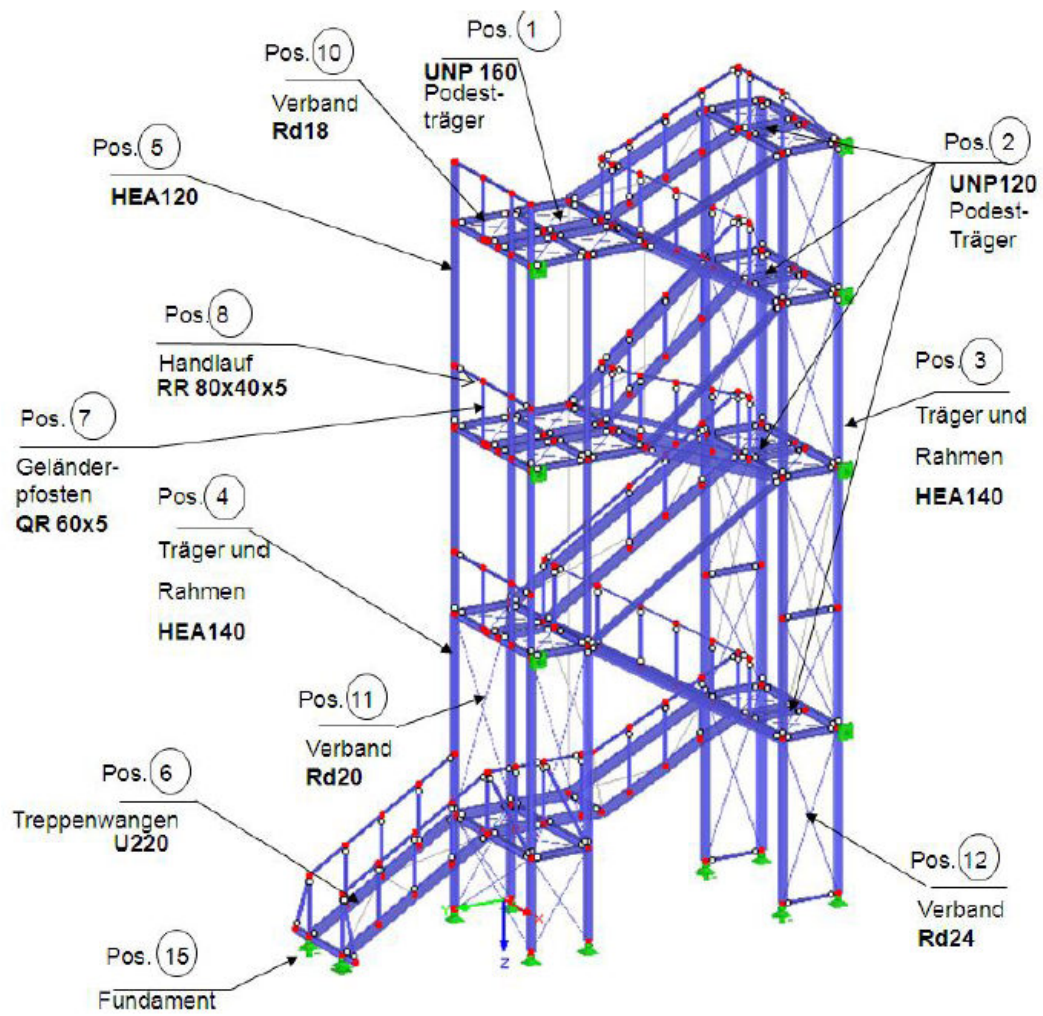


Abbildung 11: Positionsplan

Quelle: [1]

Position/ Profilbezeichnung	Profil-Nr., Bezeichnung - Material	Gewicht [kN/m]	I _y [cm ⁴]	I _z [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _z [cm ³]	A [cm ²]
Pos. 1 Podestträger DIN 1026-1	UNP160	0,188	925	85,3	116	18,3	24
Pos. 2 Podestträger DIN 1025-2	UNP120	0,134	364	43,2	60,7	11,1	17
Pos. 3 Träger DIN 1025-2	HEA140	0,247	1030	389	155	55,6	31,4
Pos. 4 Träger,Rahmen DIN 1025-3	HEA140	0,247	1030	389	155	55,6	31,4
Pos. 5 Träger,Rahmen DIN 1025-3	HEA120	0,199	606	231	106	38,5	25,3
Pos. 6 Treppenwangen DIN 1026-1	UNP220	0,294	2690	197	245	33,6	37,4
Pos. 7 Geländerpfosten DIN EN 10210-2	QR 60x5	0,0842	53,3	53,3	17,8	17,8	10,7
Pos. 8 Handlauf DIN EN 10210-2	RR 80x40x5	0,0842	80,3	25,7	20,1	12,9	10,7
Pos. 10 druckschlaffer Verband	Rd 18	0,02	-	-	-	-	2,54
Pos. 11 druckschlaffer Verband	Rd 20	0,0247	-	-	-	-	3,14
Pos. 12 druckschlaffer Verband	Rd 24	0,0355	-	-	-	-	4,52

Tabelle 50: Querschnittswerte

Quelle: [1]

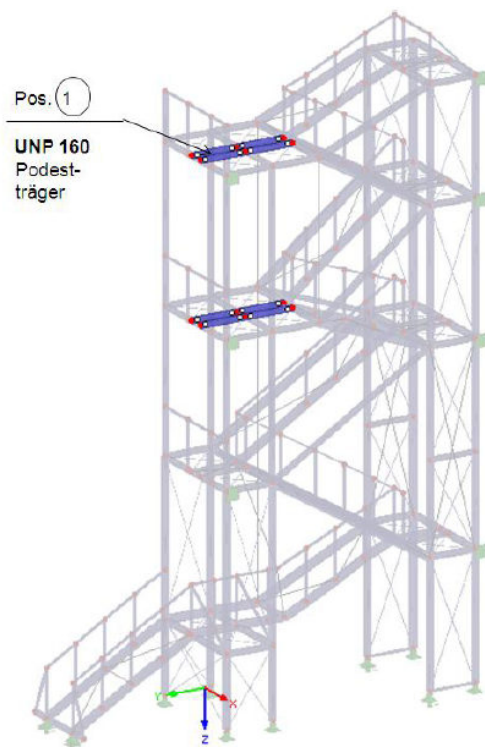


Abbildung 12: Ausschnitt Querschnittsanordnung UNP 160 - Pos.1
 Quelle: [1]

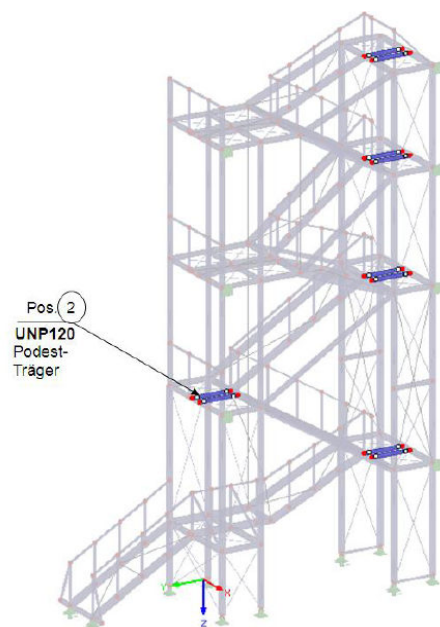


Abbildung 13: Ausschnitt Querschnittsanordnung UNP 120 - Pos.2
 Quelle: [1]

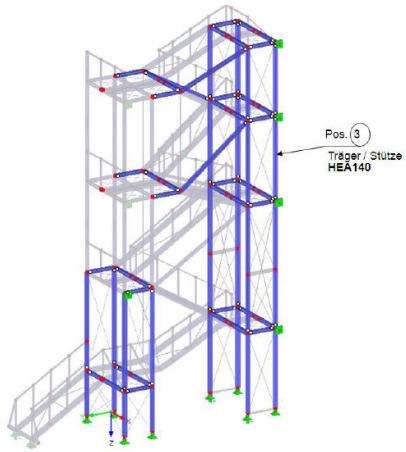


Abbildung 14: Ausschnitt Querschnittsanordnung HEA 140 - Pos.3

Quelle: [1]

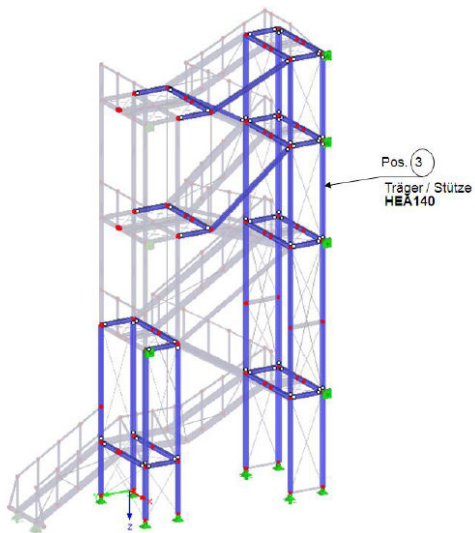


Abbildung 15: Ausschnitt Querschnittsanordnung HEA 140 - Pos.4

Quelle: [1]

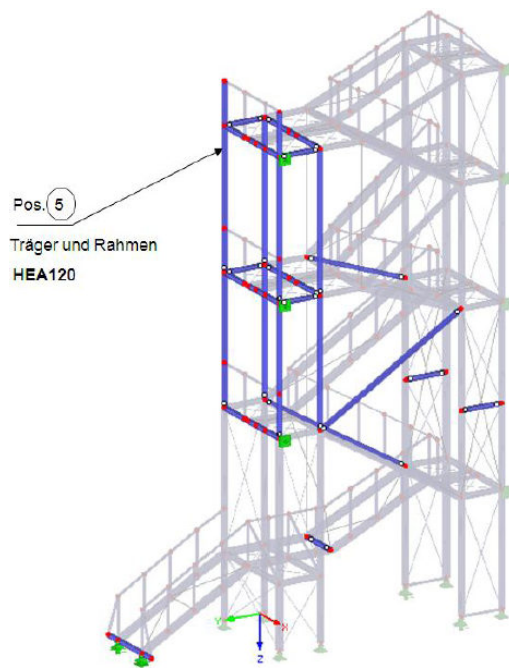


Abbildung 16: Ausschnitt Querschnittsanordnung HEA 120 - Pos. 5
Quelle: [1]

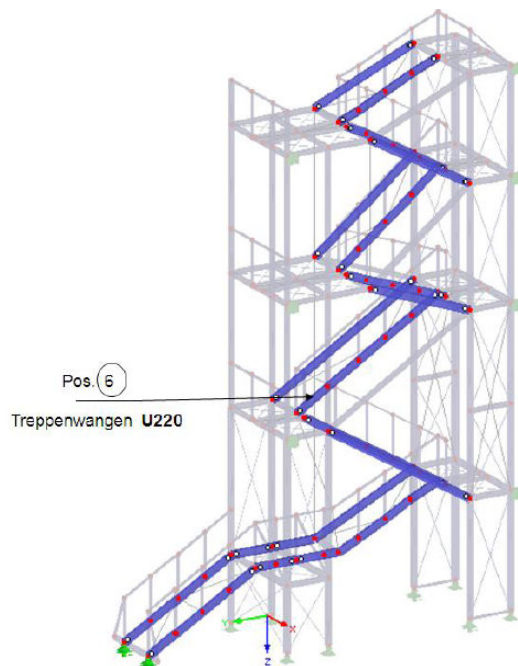


Abbildung 17: Ausschnitt Querschnittsanordnung U 220 - Pos. 6
Quelle: [1]

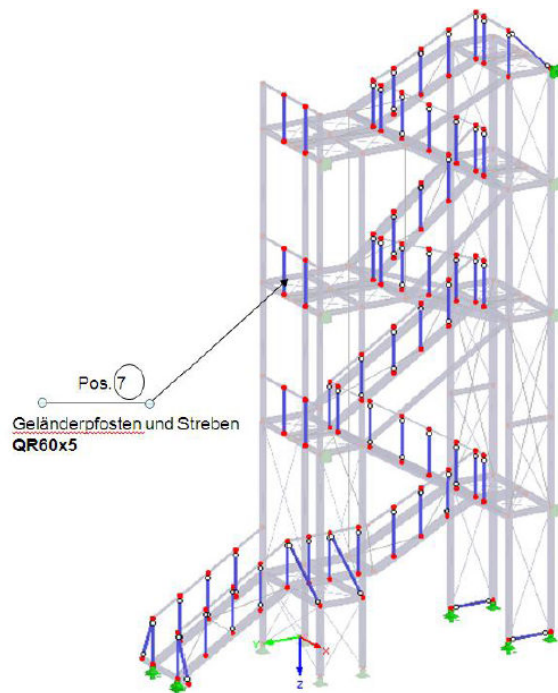


Abbildung 18: Ausschnitt Querschnittsanordnung QR 60x5 - Pos. 7
 Quelle: [1]

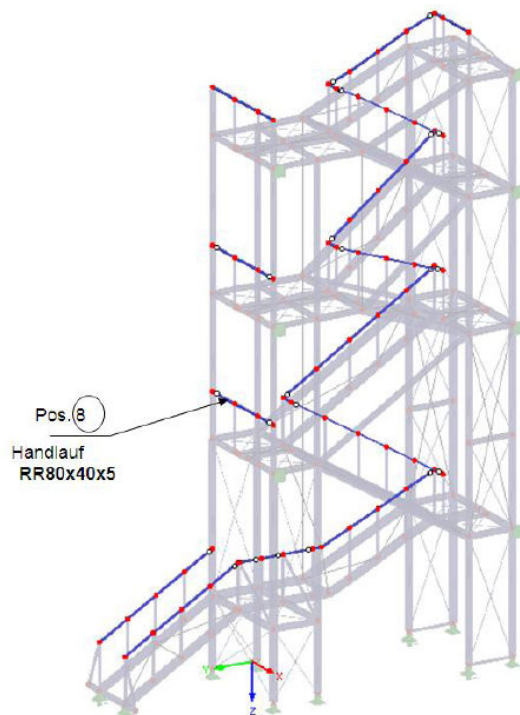


Abbildung 19: Ausschnitt Querschnittsanordnung RR 80x40x5 - Pos. 8
 Quelle: [1]

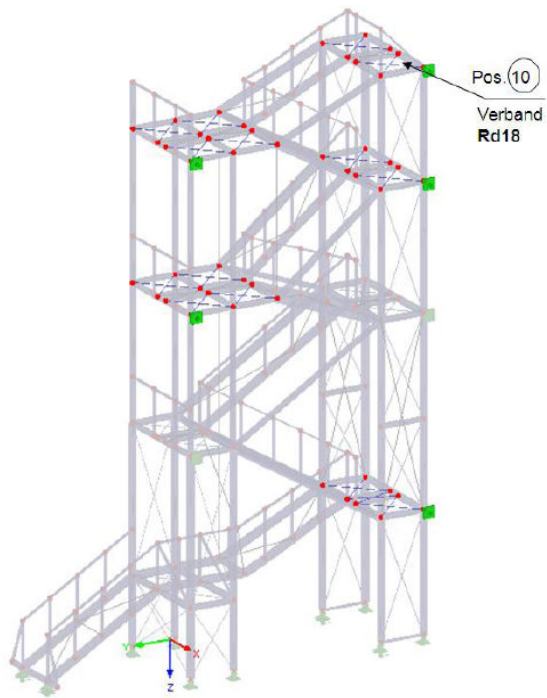


Abbildung 20: Ausschnitt Querschnittsanordnung Rd 18 - Pos. 10

Quelle: [1]

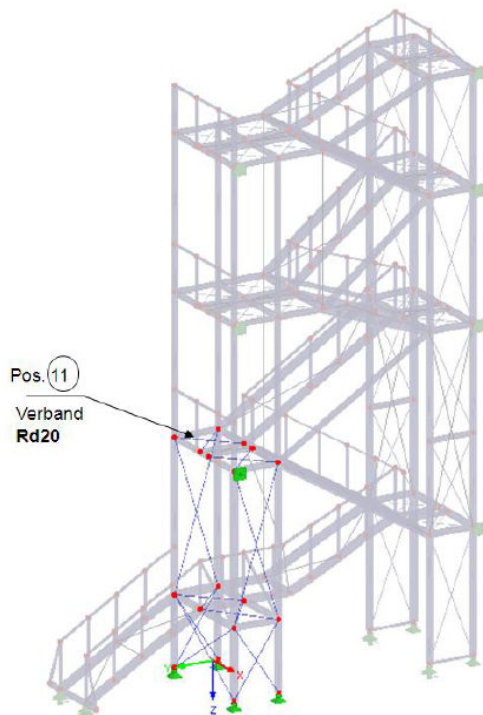


Abbildung 21: Ausschnitt Querschnittsanordnung Rd 20 - Pos. 11

Quelle: [1]

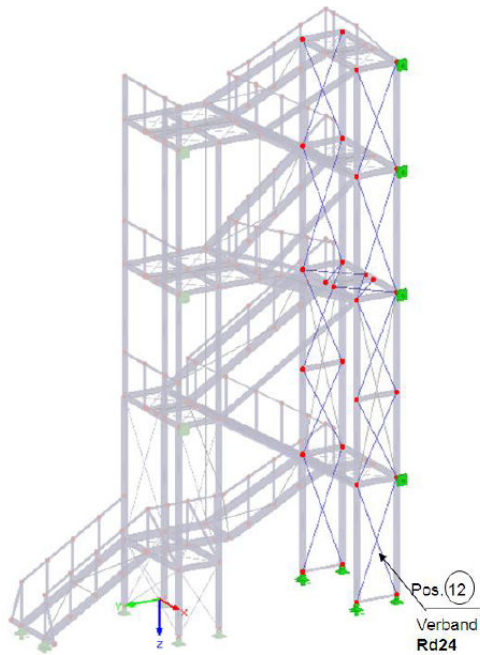


Abbildung 22: Ausschnitt Querschnittsanordnung Rd 24 - Pos. 12

Quelle: [1]

Das Tragwerk wird als vereinfachtes räumliches Stabmodell nur unter statischem Aspekt berechnet. Die Untersuchung des Schwingungsverhaltens ist nicht Gegenstand der Beauftragung. Die Eigenfrequenz der Anlage sollte mehr als 3 Hz betragen, um Resonanzen oder schwellende Überlagerungen mit der Erregerfrequenz (menschliche Schrittfolge) zu vermeiden.

Randbedingungen des statischen Systems:

- die Lagerung der Geländerpfosten sind handlaufseitig gelenkig
- die Wandhalterungen der Podeste nehmen Quer- und Axiallasten auf
- auf Verbände wird verzichtet

3.2 Lastannahmen

Vorhandene Lasten:

Eigenlast:

Die Werte für das Eigengewicht des Aufbaus der Fluchttreppe und somit die entstehende Belastung sind nach Eurocode dieselben wie die nach DIN. Somit ergeben sich keine neuen Berechnungswerte. Die Ergebnisse für die Belastungen aus dem Eigengewicht können demnach den Eigenlastberechnungen nach DIN aus dem Anhang A entnommen werden.

Vertikale Verkehrslast:

Auch diese Werte haben sich in Bezug auf dieses Beispiel der stählernen Fluchttreppenanlage nicht verändert. Die Werte sind aus der Berechnung nach DIN im Anhang A zu entnehmen.

Horizontale Vertikallast:

Analog zu den Angaben der vertikalen Verkehrslasten.

Anpralllasten:

Anpralllasten sind auszuschließen, wie bereits nach DIN.

Windlasten:

Bei der Bestimmung der Windlasten nach EC sind kaum Unterschiede zur DIN zu finden. Jegliche vereinzelte Außendruckbeiwerte haben sich in der DIN EN 1991-1-4 inkl. Nationalen Anhang geändert, welche aber für das vorliegende Beispiel keine Relevanz besitzen. Durch diese Kenntnis können auch hier die Berechnungswerte nach DIN herangezogen werden (siehe Anhang A).

Schneelast und Schneeanhäufungen:

Die Schneelastberechnung nach DIN EN 1991-1-3 inkl. Nationalen Anhang entspricht der Berechnung nach DIN. Auch in diesem Fall dürfen die bereits im Abschnitt der Schneelastberechnung nach DIN im Anhang A entnommen werden.

Imperfektion:

In der DIN EN 1993-1-1 inkl. Nationalem Anhang wird die Berechnung der Imperfektion geregelt. Durch die Ersatzimperfektionen, den Vorverkrümmungen und Vorverdrehung, wird die Imperfektion der Stäbe realisiert.

Es bestehen Unterschiede zwischen der DIN und dem EC in Bezug auf die Imperfektion, welche aber für dieses Berechnungsbeispiel nicht relevant sind. Folglich können auch hier die Angaben aus der DIN Berechnung im Anhang A entnommen werden.

Lastfälle und Lastfallgruppen:

Im EC zum Vergleich der DIN beider Lastfallermittlung ergeben sich keine relevanten Unterschiede für dieses Berechnungsbeispiel.

Lastannahmen und Teilsicherheitsbeiwerte sind analog der DIN, somit können die Angaben aus der Berechnung und Darstellung aus der DIN Berechnung aus dem Anhang A entnommen werden.

Ermittlung der Schnittgrößen:

Durch die Annahme, dass laut DIN und EC die selben Belastungen und Lastfälle vorzufinden sind und die Berechnungsalgorithmen sich nicht verändert haben, ergeben sich keine neuen Ergebnisse laut EC im Vergleich zur vorhandenen DIN Berechnung der Schnittgrößen.

Die Schnittgrößen für die Fluchttreppe nach EC sind der Berechnung nach DIN im Anhang A zu entnehmen.

Durch die Annahme, dass die maßgebenden Schnittgrößen in beiden Normen für die stählerne Fluchttreppenanlage gleiche Werte besitzen, ermöglicht dies einen besseren Vergleich bei der Nachweisführung beider Normen und deren Auswertungen bei der Gegenüberstellung.

3.3 Bemessung und Nachweisführung

3.3.1 Zuordnung der Querschnittsklassen

3.3.1.1 Position 1: UNP 160

Position 1: UNP 160

Materialkennwerte :

Material : S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_{\text{lim}} := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}} \quad \varepsilon = 1,0$$

Geometrie Kennwerte :

$$b := 65 \text{ mm}$$

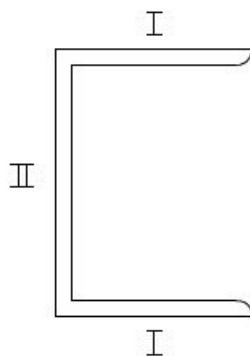
$$h_1 := 116 \text{ mm}$$

$$r_1 := 7.5 \text{ mm}$$

$$s_{\text{av}} := 7.5 \text{ mm}$$

$$t_{\text{av}} := 7.5 \text{ mm}$$

Querschnittzuordnung :



Querschnittsteil I :

$$c_{\text{av}} := 65 \text{ mm} - 7.5 \text{ mm} \quad c = 57.5 \text{ mm}$$

$$t = 7.5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = 7.667$$

einseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 9\epsilon$$

$$\frac{57,5}{7,5} = 7,667$$

$$7.667 < 9 \longrightarrow \text{QK1}$$

Querschnittsteil II :

$$c_{AA} := 116\text{mm}$$

$$t = 7.5\text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = 15.467$$

beidseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 72\epsilon$$

$$\frac{116}{15,467} = 15.467$$

$$15.467 < 72 \longrightarrow \text{QK1}$$

maßgebende und somit ungünstigste Gesamtquerschnittsklasse : QK 1

3.3.1.2 Position 2 bis 12

Die Klassifizierung der Querschnittsklassen für die Positionen 2 bis 12 befinden sich im Anhang A.

3.3.2 Querschnittsnachweise und Stabilitätsnachweise

3.3.2.1 Position 1

3.3.2.1.1 Position 1-Querschnittsnachweis

gewähltes Profil : UNP 160

Materialwerte : S235 nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 3.1

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G := 8.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Geometriewerte : maximale Länge : $l_{\max} := 2.5\text{m}$

Querschnittswerte : nach DIN EN 10 279

$$\begin{aligned} h_x &:= 160\text{mm} & I_{xx} &:= 925\text{cm}^4 & S_y &:= 68.8\text{cm}^3 \\ h_1 &:= 116\text{mm} & I_z &:= 85.3\text{cm}^4 & W_{pl} &:= 2 \cdot S_y \\ b &:= 65\text{mm} & W_{xx} &:= 116\text{cm}^3 & W_{pl} &:= 2 \cdot 68.8\text{cm}^3 \\ s_x &:= 7.5\text{mm} & I_T &:= 7.39\text{cm}^4 & W_{pl} &:= 137.6\text{cm}^3 \\ t_w &:= 10.5\text{mm} & I_w &:= 3260\text{cm}^6 \\ r_1 &:= 10.5\text{mm} & A_w &:= 24\text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_v := A - 2 \cdot b \cdot t + (s + r_1) \cdot t \quad \text{nach DIN EN 1993-1-1 Kapitel 6.2.6}$$

$$A_v = 24\text{cm}^2 - 2 \cdot 6.5\text{cm} \cdot 1.05\text{cm} + (0.75\text{cm} + 1.05\text{cm}) \cdot 1.05\text{cm}$$

$$A_v = 12.24\text{cm}^2$$

Schneider 8.172
19. Auflage

Schnittgrößen : aus den Berechnungen aus R-Stab

$$V_{z,Ed} := 3.64\text{kN}$$

$$N_{Ed} := -29\text{kN} \quad \text{Lastgruppe LG16}$$

$$M_{y,Ed} := 1\text{kNm}$$

Querschnittseinordnung :

Querschnittsklasse : QK1

Querschnittsnachweis :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

nach DIN EN 1993-1-1 NA

vollplastische Schnittgrößen :

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{pl.Rd} = \frac{12.24 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1} \quad V_{pl.Rd} = 166.07 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{pl.Rd} = \frac{24 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1} \quad N_{pl.Rd} = 564 \text{ kN}$$

$$M_{pl.Rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{pl.Rd} = \frac{137.6 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1} \quad M_{pl.Rd} = 32.34 \text{ kNm}$$

Querkraftnachweis :

$$\text{bei : } \frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} \leq 0,5$$

keine Abminderung

$$\text{bei : } \frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} > 0,5$$

Abminderung über die Streckgrenze

$$\rho := \left(\frac{2 \cdot V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} - 1 \right)^2 \quad \rho = \left(\frac{2 \cdot 3.64 \text{ kN}}{166.07 \text{ kN}} - 1 \right)^2$$

$$\rho = 0.91$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = (1 - 0.91) \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = 2.02 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} = \frac{3.64 \text{ kN}}{166.07 \text{ kN}}$$

$$\frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} = 0.02$$

$$0,02 \leq 0,5$$

keine Abminderung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit

Biegung :

Einfluss der Normalkraft :

$$N_{Ed} \leq 0.25 \cdot N_{pl.Rd} \quad \text{und} \quad N_{Ed} \leq \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

mit : $N_{Ed} := 28.39 \text{ kN}$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 0.25 \cdot 564 \text{ kN} \quad \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 7.5 \text{ mm} \cdot 116 \text{ mm} \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1}$$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 141 \text{ kN} \quad \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 102.22 \text{ kN}$$

$$28.39 \text{ kN} < 141 \text{ kN} \quad 28.39 \text{ kN} < 102.22 \text{ kN}$$

Bedingung erfüllt!

es folgt Nachweis nach a

Nachweis a :

$$M_{N.Rd} := M_{pl.Rd}$$

$$M_{N.Rd} = 32.34 \text{ kNm}$$

Nachweis b :

$$a := \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A}$$

$$a = \frac{24 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 65 \text{ mm} \cdot 10.5 \text{ mm}}{24 \text{ cm}^2}$$

$$a = 0.43$$

$$0.43 \leq 0.5$$

$$a = 0.43$$

$$n := \frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} \quad n = \frac{28.39 \text{ kN}}{564 \text{ kN}}$$

$$n = 0.05$$

$$M_{N.Rd} := \frac{M_{pl.Rd} \cdot (1 - n)}{1 - 0.5 \cdot a} \quad M_{N.Rd} = \frac{32.34 \text{ kNm} \cdot (1 - 0.05)}{1 - 0.5 \cdot 0.43}$$

$$M_{N.Rd} = 39.15 \text{ kNm}$$

$$\longrightarrow M_{N.Rd} := 32.34 \text{ kNm}$$

Querschnittsnachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{1 \text{ kNm}}{32.34 \text{ kNm}}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = 0.03$$

Nachweis = "erfüllt"

3.3.2.1.2 Position 1-Stabilitätsnachweis

$$\gamma_{M1} := 1.1 \quad \text{nach DIN EN 1993-1-1 NA}$$

vollplastische Schnittgrößen :

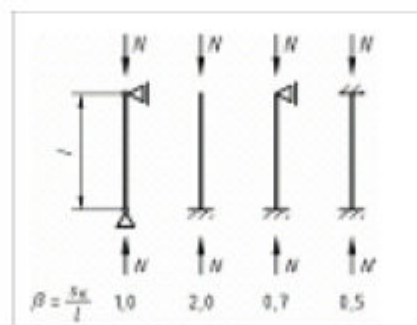
$$V_{pl,Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{pl,Rd} = \frac{12.24 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.1} \quad V_{pl,Rd} = 150.97 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{pl,Rd} = \frac{24 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.1} \quad N_{pl,Rd} = 512.73 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad M_{pl,Rd} = \frac{137.6 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.1} \quad M_{pl,Rd} = 29.4 \text{ kNm}$$

Berechnung der Knicklänge :

$$\beta := 1.0 \quad \text{nach DIN 18800-2 Bild 9 S. 21}$$



Stablänge : $l_s := 2.5\text{m}$

$$L_{cr} := \beta \cdot l_s \quad L_{cr} = 1 \cdot 2.5\text{m}$$

$$L_{cr} = 2.5\text{ m}$$

1. Biegedrillknicknachweis :

Ausweichen um die y-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :

Knickspannungslinie : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

$$KSL := c$$

$$\lambda_y := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}}$$

$$\text{mit : } N_{cr,y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{24\text{cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{3037.47\text{kN}}}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 925\text{cm}^4}{2.5\text{m}^2}$$

$$\lambda_y = 0.43$$

$$N_{cr,y} = 3067.47\text{ kN}$$

Imperfektionsbeiwerte :

KSL a ₀ :	$\alpha = 0,13$
KSL a:	$\alpha = 0,21$
KSL b:	$\alpha = 0,34$
KSL c:	$\alpha = 0,49$
KSL d:	$\alpha = 0,76$
nach DIN EN 1993-1-1	

$$\alpha := 0.49$$

Ermittlung des Abminderungsfaktors : χ

$$\text{für : } \bar{\lambda} \leq 0,2 \quad \chi = 1,0$$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\text{mit : } \phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right]$$

$$\phi = 0.5 \cdot \left[1 + 0.49 \cdot (0.43 - 0.2) + 0.43^2 \right]$$

$$\phi = 0.65$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.65 + \sqrt{0.65^2 - 0.43^2}} \quad \chi_y = 0.88$$

Interaktionsbeiwert : k_{yy}

mit $C_{my} := 0.95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$N_{Rk} := f_y \cdot A \quad N_{Rk} = 235 \frac{N}{mm^2} \cdot 24 cm^2 \quad N_{Rk} = \blacksquare \text{ kN}$$

$$C_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} := C_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{yy} = 0.95 \left[1 + (0.43 - 0.2) \cdot \frac{28.39 \text{ kN}}{\left(\frac{0.88 \cdot 564 \text{ kN}}{1.1} \right)} \right] \quad k_{yy} = 0.96$$

$$k_{yy} := C_{my} \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0.95 \left[1 + 0.8 \cdot \frac{28.39 \text{ kN}}{\left(\frac{0.88 \cdot 564 \text{ kN}}{1.1} \right)} \right] \quad k_{yy} = 1$$

$$\longrightarrow k_{yy} := 0.96$$

Ideales Biegedrillknickmoment :

Momentenbeiwerte C_1 und C_2 :

Momenten- verlauf	Beiwerte C_1	C_2	Momentenform	Beiwerte C_1	C_2
	1,13	0,46		1,00	$C_2 = 0$
	1,36	0,55		1,32	
	1,04	0,43		1,85	
	2,57	1,55		2,59	
	1,68	1,64		2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$C_1 := 1.13 \quad C_2 := 0.46 \quad z_g := \frac{h}{2}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210000 \frac{N}{mm^2} \cdot 85.3cm^4}{2.5^2 m^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{3260cm^6}{85.3cm^4} + \frac{2.5^2 m^2 \cdot 81 \frac{N}{mm^2} \cdot 7.39cm^4}{\pi^2 \cdot 210000mm^2 \cdot 85.3cm^4}} + \left(0.46 \cdot \frac{16cm}{2} \right)^2 - 0.46 \cdot \frac{16cm}{2} \right]$$

$$M_{cr} = 11.28 kNm$$

Bezogener Schlankheitsgrad :

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{137.6cm^3 \cdot 235 \frac{N}{mm^2}}{11.28kNm}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1.69$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BOK) : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

KSL a: $\alpha_{LT} = 0,21$
 KSL b: $\alpha_{LT} = 0,34$
 KSL c: $\alpha_{LT} = 0,49$
 KSL d: $\alpha_{LT} = 0,76$
 nach DIN EN 1993-1-1

KSL : c $\alpha_{LT} := 0.49$

$\bar{\lambda}_{LT,0} := 0.4$ (Höchstwert)

$\beta_w := 0.75$ (Mittelwert)

$$\phi_{LT} := 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \bar{\beta} \cdot \lambda_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + 0.49(1.69 - 0.4) + 0.75 \cdot 1.69^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 1.89$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\beta} \cdot \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.89 + \sqrt{1.89^2 - 0.75 \cdot 1.69^2}} \quad \chi_{LT} = 0.32$$

$$\text{jedoch :} \quad \chi_{LT} \leq 1,0 \quad 0.32 \leq 1,0$$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \quad \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1.69^2} \quad \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = 0.35$$

$$0.32 \leq 0.35$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}} = \frac{28.39 \text{ kN}}{0.88 \cdot 512.73 \text{ kN}} + 0.96 \cdot 1 \cdot \frac{\text{kNm}}{0.32 \cdot 29.4 \text{ kNm}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}} = 0.16$$

Nachweis = "erfüllt"

1. Biegedrillknicknachweis :

Ausweichen um die z-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :Knickspannungslinie : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2KSL := c

$$\bar{\lambda}_z := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} \quad \text{mit :} \quad N_{cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 85,3 \text{ cm}^4}{2,5 \text{ m}}$$

$$N_{cr,z} = 282,87 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{24 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{282,87 \text{ kN}}}$$

$$\lambda_z = 1,41$$

Imperfektionsbeiwerte :

KSL a₀: $\alpha = 0,13$
 KSL a: $\alpha = 0,21$
 KSL b: $\alpha = 0,34$
 KSL c: $\alpha = 0,49$
 KSL d: $\alpha = 0,76$
 nach DIN EN 1993-1-1

$$\alpha_w := 0,49$$

Ermittlung des Abminderungsfaktors : χ

$$\text{für :} \quad \lambda \leq 0,2 \quad \chi = 1,0$$

$$\lambda > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\text{mit :} \quad \phi_w := 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2]$$

$$\phi = 0,5 [1 + 0,49 \cdot (1,41 - 0,2) + 1,41^2]$$

$$\phi = 1,79$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_z^2}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{1.79 + \sqrt{1.79^2 - 1.41^2}} \quad \chi_z = 0.34$$

Interaktionsbeiwert : k_{zy} nach DIN EN 1993-1-1 Anhang B

mit $C_{mLT} := 0.95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$N_{Rk} := f_y \cdot A \quad N_{Rk} = 235 \frac{N}{mm^2} \cdot 24cm^2 \quad N_{Rk} = 564 \text{ kN}$$

$$\left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \geq \left(1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0.1 \cdot 1.41}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{28.39kN}{\left(\frac{0.34 \cdot 564kN}{1.1} \right)} \right] \quad k_{zy} = 0.97$$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0.1}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{28.39kN}{\left(\frac{0.34 \cdot 564kN}{1.1} \right)} \right]$$

$$k_{zy} = 0.98$$

$$0.97 < 0.98$$

$$\rightarrow k_{zy} = 0.98$$

Ideales Biegedrillknickmoment:

Momentenbeiwerte C_1 und C_2 :

Momenten- verlauf	Beiwerte		Momentenform	Beiwerte	
	C_1	C_2		C_1	C_2
	1,13	0,46		1,00	0,5 $C_1 \cdot C_2$
	1,36	0,55		1,32	
	1,04	0,43		1,85	
	2,57	1,55		2,59	
	1,68	1,64		2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$\frac{C_1}{M_{cr}} = 1.13 \quad \frac{C_2}{M_{cr}} = 0.46 \quad \frac{z_{cg}}{h} = \frac{h}{2}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210000 \frac{N}{mm^2} \cdot 85.3cm^4}{2.5^2 m^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{3260cm^6}{85.3cm^4} + \frac{2.5^2 m^2 \cdot 81 \frac{N}{mm^2} \cdot 7.39cm^4}{\pi^2 \cdot 210000mm^2 \cdot 85.3cm^4}} + \left(0.46 \cdot \frac{16cm}{2} \right)^2 - 0.46 \cdot \frac{16cm}{2} \right]$$

$$M_{cr} = 11.28kNm$$

Bezogener Schlankheitsgrad: $\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{137.6cm^3 \cdot 235 \frac{N}{mm^2}}{11.28kNm}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1.69$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BDK) : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

KSL a:	$\alpha_{LT} = 0,21$
KSL b:	$\alpha_{LT} = 0,34$
KSL c:	$\alpha_{LT} = 0,49$
KSL d:	$\alpha_{LT} = 0,76$
nach DIN EN 1993-1-1	

KSL : c $\alpha_{LT} = 0.49$

$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$ (Höchstwert)

$\beta = 0.75$ (Mittelwert)

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + 0.49 (1.69 - 0.4) + 0.75 \cdot 1.69^2 \right] \quad \phi_{LT} = 1.89$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.89 + \sqrt{1.89^2 - 0.75 \cdot 1.69^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.32$$

jedoch : $\chi_{LT} \leq 1,0$

$$0.32 \leq 1,0$$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2}$$

$$\frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{1.69^2}$$

$$\frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 0.35$$

$$0.32 \leq 0.35$$

$$\rightarrow \chi_{LT} = 0.32$$

Nachweis :
$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}} = \frac{28.39 \text{ kN}}{0.34 \cdot 512.73 \text{ kN}} + 0.98 \cdot \frac{1 \text{ kNm}}{0.32 \cdot 29.4 \text{ kNm}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}} = 0.26$$

Nachweis = "erfüllt"

3.3.2.2 Position 2 bis 12

Die Querschnitts- und Stabilitätsnachweise der Positionen 2 bis 5 befinden sich im Anhang B.

Auf die Querschnittsnachweise und Stabilitätsnachweise der Positionen 6 bis 12 wird verzichtet. Die Rechenalgorithmen sind analog denen der Positionen 1 bis 5.

Weiterhin wird nicht auf die Verformungs- und Eigenschwingformnachweise eingegangen.

4 Auswertung

4.1 Vergleich der Ergebnisse der Querschnitts- und Stabilitätsnachweise aus DIN 18800 und EC 3

Für beide Berechnungsmodelle wurden für den direkten Vergleich, gleiche Annahmen in Bezug auf die Profilwahl und die Schnittgrößen vorausgesetzt.

Die Profilauslastung der verschiedenen Nachweise dient als Vergleichsgrundlage.

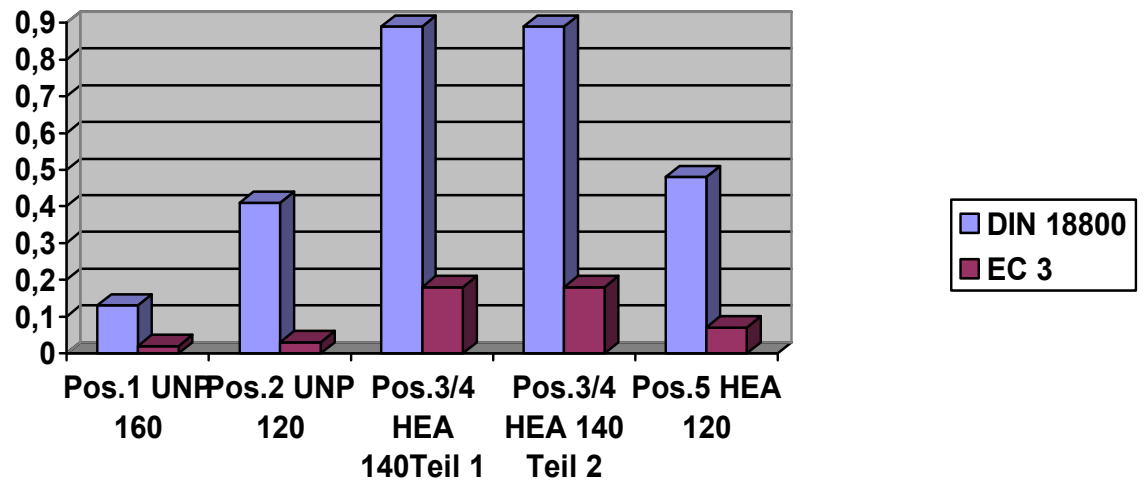
Nach EC 3 wird der Stabilitätsnachweis für verdrehweiche Stäbe in einem gemeinsamen Nachweis auf Biegeknicken und Biegedrillknicken geführt, in der DIN 18800 unterscheidet man jedoch in Biegeknicken und Biegedrillknicken. So ist der direkte Vergleich beider Normen nur in Hinsicht auf die Querschnittstragfähigkeit und den Biegedrillknicknachweis möglich.

	DIN (Auslastung)	Eurocode (Auslastung)
Pos.1 UNP 160	Spannungs-Nachweis: 0,13	Querkraft-Nachweis:0,02
	Biegeknick-Nachweis: 0,122	Querschnitts-Nachweis Biegung: 0,03
	Biegedrillknick-Nachweis: 0,075	Biegedrillknicken: 0,16
Pos.2 UNP 120	Spannungs-Nachweis: 0,41	Querkraft-Nachweis:0,03
	Biegeknick-Nachweis: 0,333	Querschnitts-Nachweis Biegung: 0,06
	Biegedrillknick-Nachweis: 0,231	Biegedrillknicken: 0,25
Pos.3/4 HEA 140 Teil 1	Spannungs-Nachweis: 0,89	Querkraft-Nachweis: 0,18
	Biegeknick-Nachweis: 0,794	Querschnitts-Nachweis Biegung: 0,69
	Biegedrillknick-Nachweis: 0,756	Biegedrillknicken: 1,6
Pos.3/4 HEA 140 Teil 2	Spannungs-Nachweis: 0,89	Querkraft-Nachweis: 0,18
	Biegeknick-Nachweis: 0,794	Querschnitts-Nachweis Biegung: 0,13
	Biegedrillknick-Nachweis: 0,756	Biegedrillknicken:0,92
Pos.5 HEA 120	Spannungs-Nachweis: 0,48	Querkraft-Nachweis:0,07
	Biegeknick-Nachweis:0,438	Querschnitts-Nachweis Biegung: 0,28
	Biegedrillknick-Nachweis: 0,439	Biegedrillknicken: 1,19

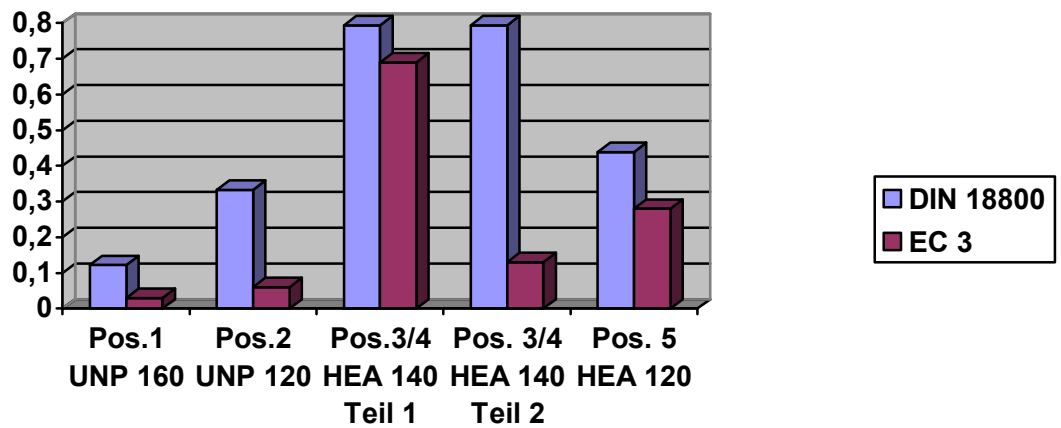
Tabelle 51: Ergebnisse Querschnitts- und Stabilitätsnachweise

Quelle: eigene Darstellung

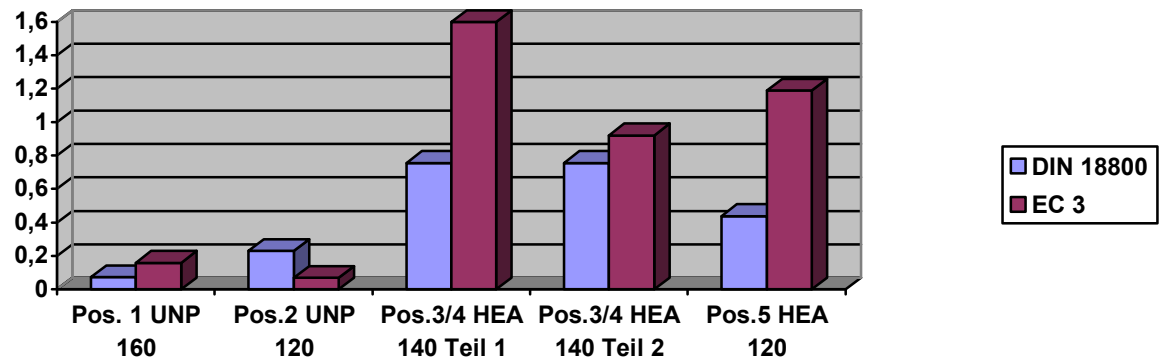
Ausnutzung - Spannungs-/ Querkraftnachweise:



Ausnutzung - Biegeknicknachweis/ Querkraftnachweis auf Biegung:



Ausnutzung - Biegedrillknicknachweis:



Die wissenschaftliche Untersuchung zeigt eine geringere Querschnittsauslastung der Profile nach Eurocode. Gründe dafür liegen in der Querschnittsklassifizierung und der daraus folgenden Wahl des Nachweisverfahrens. Nach DIN 18800 wird das Nachweisverfahren elastisch-elastisch angewandt. Nach EC 3 gehören die verwendeten Profile der Querschnittsklasse 1 an, dadurch darf plastisch-plastisch gerechnet werden und plastische Tragreserven werden genutzt, was die geringere Auslastung der Profile erklärt.

Die Ergebnisse des Biegedrillknicknachweises nach EC 3 zeigen eine höhere Profilauslastung, als die nach DIN 18800. Ursachen sind u.a. die Reduzierung der Streckgrenze für S235 auf $23,5 \text{ kN/cm}^2$; andere Berechnungen des Abminderungsbeiwertes der Momentenbeanspruchbarkeit x_{LT} , des Interaktionsbeiwertes k_{zy} und der Momentenbeiwerte C_1 und C_2 nach EC 3.

4.2 Zusammenfassung der Querschnitts- und Stabilitätsnachweise

Am Beispiel der stählernen Fluchttreppe sollen die Unterschiede und Gemeinsamkeiten von der DIN und dem Eurocode verdeutlicht werden.

In den voran gegangenen Kapiteln wurden durch Berechnungen die Gemeinsamkeiten, sowie starke Unterschiede deutlich.

So muss beispielsweise für die Nachweisführung nach EC 3 der Profilquerschnitt einer Querschnittsklasse zugeordnet werden (QK1 bis QK4). Die Querschnittsklassen 1 und 2 werden in der Regel plastisch-plastisch bzw. elastisch-plastisch nachgewiesen, d.h. plastische Tragreserven werden genutzt. Im Gegensatz dazu wird nach DIN 18800 (Stand der Technik 70/80er Jahre) der Standardnachweis elastisch-elastisch geführt, wobei die plastischen Tragreserven nicht berücksichtigt werden.

Bei den Stabilitätsnachweisen wird in der europäischen Norm (EC3) zwischen verdrehweichen (z.B. IPE) und verdrehsteifen (z.B. Quadratrohre) Profilen unterschieden.

Verdrehsteife Profile werden dann auf Biegeknicken und verdrehweiche Profile auf Biegedrillknicken als gemeinsamer Nachweis geführt.

Biegedrillknicken umfasst dabei das Knicken um die starke Achse mit Kippen infolge von M_y und M_z bzw. das Knicken um die schwache Achse mit Kippen infolge von M_y und M_z .

Bei den Querschnittsnachweisen wird deutlich, dass die Profilauslastung nach EC 3 geringer ist, d.h. die Querschnittstragfähigkeit erhöht wurde.

Die Stabilitätsnachweise hingegen, durch z.B. die Reduzierung der Streckgrenze und den neuen Berechnungsmodellen der Beiwerte, weisen eine deutlich höhere Auslastung nach EC 3.

5 Anschlüsse

5.1 Darstellung der vorhandenen Anschlüsse

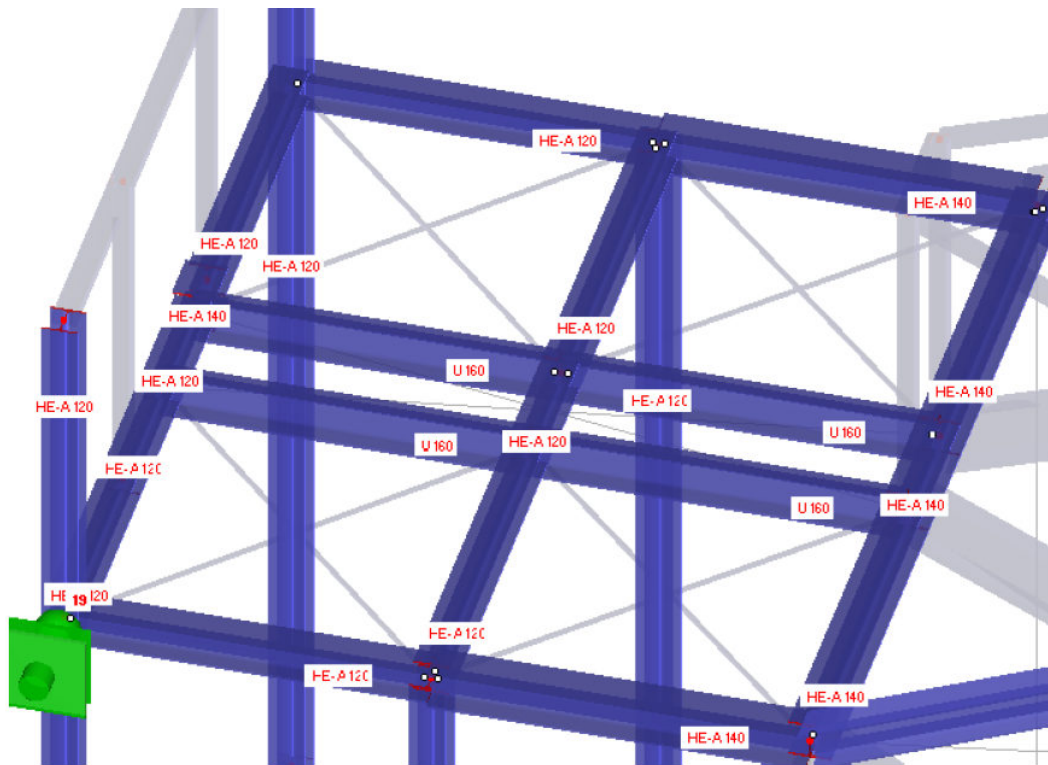


Abbildung 23: Überblick vorhandener Anschlüsse

Quelle: [1]

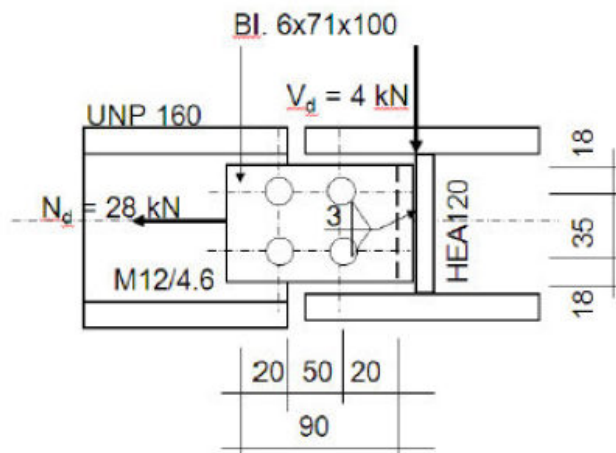
5.2 Anschlussberechnung nach Eurocode

5.2.1 Anschluss UNP 160 – Pos.1 (UNP 160 an HEA 120)

Nachweis der Anschlüsse

Nachweis Pos.1 Anschluss (U160 an HEA 120)

Max. $N = 28\text{kN}$, $V_z = 4\text{kN}$ (LG 24)



Nachweis Schweißnaht an Bl. 6:

vorh zwei doppelte Kehlnähte mit $a = 3\text{ mm}$, $l_w = 70\text{ mm}$, max $V = 4\text{ kN}$ und $N = 28\text{ kN}$

Kehlnähte

Schweißnahtdicke : $a_w := 3\text{ mm}$

Schweißnahtlänge : $l_w := 70\text{ mm}$

Mindestdicken und -längen:

Mindestmaße von tragenden Kehlnähten :

Nahtdicke : $a_{w,\min} := 3\text{ mm}$

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } a_w \geq a_{w,\min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Bedingung = "erfüllt"

Nahlänge :

$$l_{w,\min} := \max(30\text{mm}, 6 \cdot a_w)$$

$$l_{w,\min} = \max(30\text{mm}, 3 \cdot 6\text{mm}) = \max(30\text{mm}, 18\text{mm})$$

$$l_{w,\min} = 30\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \geq l_{w,\min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

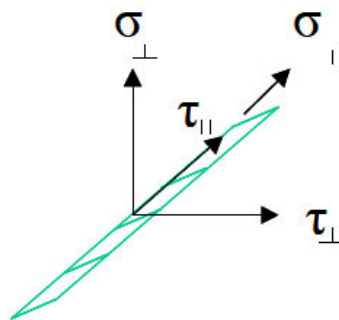
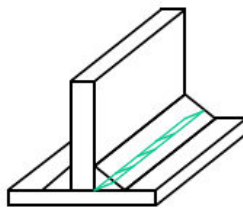
Bedingung = "erfüllt"

Maximale wirksame Kehlnahtlänge bei
überlappten Stößen ohne Abminderung der
Tragfähigkeit:

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \leq 150 \cdot a_w \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- Richtungsbezogenes Verfahren :



$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

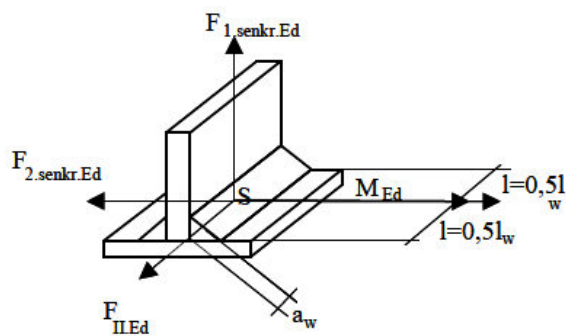
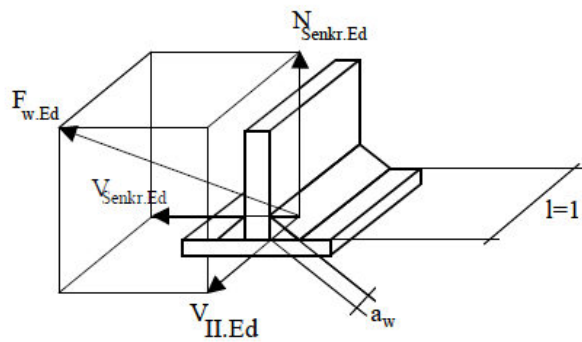
$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S235 \\ 430 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S275 \\ 510 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S355 \\ 520 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S420 \\ 540 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S450 \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{N}{mm^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = S235 \\ 0.85 & \text{if Stahl} = S275 \\ 0.9 & \text{if Stahl} = S355 \\ 1 & \text{if Stahl} = S420 \\ 1 & \text{if Stahl} = S450 \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$



$$F_{1,\text{senkr.Ed}} := 28\text{kN}$$

$$F_{2,\text{senkr.Ed}} := 0\text{kN}$$

$$F_{\text{II.Ed}} := 4\text{kN}$$

$$M_{\text{Ed}} := 0\text{kNm}$$

Spannung senkrecht zur Schweißnahtachse ; $\sigma_{\text{I.Ed}} := \frac{F_{1,\text{senkr.Ed}}}{2a_w \cdot l_w} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$

$$\sigma_{\text{I.Ed}} = \frac{28\text{kN}}{2 \cdot 3\text{mm} \cdot 70\text{mm}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{\text{I.Ed}} = 47.14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannung parallel zur Schweißnahtachse ; $\sigma_{\text{II.Ed}} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse : $\tau_{\text{I.Ed}} := \sigma_{\text{I.Ed}}$

Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse : $\tau_{\text{II.Ed}} := \frac{F_{\text{II.Ed}}}{2 \cdot a_w \cdot l_w}$

$$\tau_{\text{II.Ed}} = \frac{4\text{kN}}{2 \cdot 3\text{mm} \cdot 70\text{mm}}$$

$$\tau_{\text{II.Ed}} = 9.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

vorhandene Beanspruchung :

$$\sigma_{\text{vorh}} := \sqrt{\sigma_{\text{I.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{I.Ed}}^2 + \tau_{\text{II.Ed}}^2)}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = \sqrt{\left(47.14 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left[\left(47.14 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + \left(9.52 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2\right]}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = 95.71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grenzscherfestigkeit :

$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\beta_w \sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} \quad f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.8 \cdot \sqrt{3} \cdot 1.25} \quad f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgende 2 Nachweise müssen erfüllt sein!

$$\text{1. Nachweis :} \quad \text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = \frac{95.71}{207.85} \quad \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = 0.46 \quad \text{Nachweis} = \blacksquare$$

$$\text{2. Nachweis :} \quad 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.25} \quad 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \sigma_{\text{I.Ed}} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Nachweis = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- vereinfachtes Verfahren :

Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht :

$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit (2 Kehlnähte):

$$F_{\text{w.Rd}} := f_{\text{vw.d}} \cdot 2 \cdot a_w \quad F_{\text{w.Rd}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot 3\text{mm}$$

$$F_{\text{w.Rd}} = 1247.08 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkende Kraft (Resultierende) je Längeneinheit :

Ermittlung der Kraftresultierenden auf einen rechtwinkligen Kehlnahtanschluss:

bei mittigem Kraftangriff $M_{\text{Ed}} = 0$

Beanspruchung bezogen auf eine beliebige Stelle der Naht mit I1

$$N_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{1.\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = \frac{28\text{kN}}{70\text{mm}} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = 400 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{2.\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{70\text{mm}} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = 0\text{kN}$$

$$V_{\text{II.Ed}} := \frac{F_{\text{II.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{II.Ed}} = \frac{4\text{kN}}{70\text{mm}} \quad V_{\text{II.Ed}} = 57.14 \frac{1}{\text{m}} \text{kN}$$

$$F_{w.Ed} := \sqrt{N_{senkr.Ed}^2 + V_{senkr.Ed}^2 + V_{ll.Ed}^2}$$

$$F_{w.Ed} = \sqrt{\left(400 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2 + (0)^2 + \left(57.14 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2}$$

$$F_{w.Ed} = 404.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } F_{w.Ed} \leq F_{w.Rd} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = \frac{404.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{1247.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

$$\frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = 0.32$$

Nachweis = "erfüllt"

Schraubennachweis 4 M12/4.6

max $V_{d,z}=4\text{kN}$, $H_d=28\text{kN}$, $M_d=4 \cdot 0,05=0,2\text{kNm}$

Querschnitte und Geometrie

Schrauben

Schraubenkennwerte

Festigkeitsklasse := 4.6

charakteristische Festigkeiten

$$f_{ub} := \begin{cases} 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{ub} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yb} := \begin{cases} 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{yb} = 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Gewindedurchmesser :

$$d := 12\text{mm}$$

Art der Schraube :

$$\text{Art} := \text{R}$$

Eingabe
P... Passschraube
R... rohe Schraube

Anzahl der Schrauben :

$$n_{\text{Schr}} := 4$$

Schaftdurchmesser :

$$d_s := \begin{cases} d & \text{if Art} = \text{R} \\ d + 1\text{mm} & \text{if Art} = \text{P} \end{cases}$$

$$d_s = 12\text{mm}$$

Lochdurchmesser :

$$d_L := 13\text{mm}$$

Lochdurchmesser bei "rohen" Schrauben 1 oder 2 mm größer wählen als d (Regelfall 1mm)

Schaftquerschnitt :

$$A_s := \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \quad A = \frac{\pi \cdot (12\text{mm})^2}{4}$$

$$A = 113.1\text{mm}^2$$

Spannungsquerschnitt :

$$A_s := \begin{cases} 84.3\text{mm}^2 & \text{if } d = 12\text{mm} \\ 157\text{mm}^2 & \text{if } d = 16\text{mm} \\ 245\text{mm}^2 & \text{if } d = 20\text{mm} \\ 303\text{mm}^2 & \text{if } d = 22\text{mm} \\ 353\text{mm}^2 & \text{if } d = 24\text{mm} \\ 459\text{mm}^2 & \text{if } d = 27\text{mm} \\ 561\text{mm}^2 & \text{if } d = 30\text{mm} \\ 817\text{mm}^2 & \text{if } d = 36\text{mm} \end{cases}$$

$$A_s = 84.3\text{mm}^2$$

Gewindeteil in :

Scherfuge := j

Eingabe :
j...Gewindeteil
befindet sich in
Scherfuge
n...außerhalb

maßgebender Schaftquerschnitt :

$$\underline{A} := \begin{cases} A & \text{if } \text{Scherfuge} = n \\ A_s & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A = 84.3 \text{ mm}^2$$

Verbindung :

$$\text{Verbindung} := \begin{cases} \text{"SL"} & \text{if } \text{Art} = R \\ \text{"SLP"} & \text{if } \text{Art} = P \end{cases}$$

$$\text{Verbindung} = \text{"SL"}$$

Profil 1 :

UNP 160

Stegdicke

$$t_w := 7.5 \text{ mm}$$

Profil 2 :

HEA 120

Flanschdicke

$$t_f := 8 \text{ mm}$$

Stirnplatte :

Breite

$$b_p := 100 \text{ mm}$$

Höhe

$$h_p := 71 \text{ mm}$$

Dicke

$$t_p := 6 \text{ mm}$$

Lochabstände :

$$p_1 := 50 \text{ mm}$$

$$e_1 := 20 \text{ mm}$$

$$p_2 := 35 \text{ mm}$$

$$e_2 := 18 \text{ mm}$$

Schweißnähte :

$$a := 3 \text{ mm}$$

Teilsicherheitsbeiwerte :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Einwirkungen :

$$V_{Ed} := 4 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} := 28 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := 0.2 \text{ kNm}$$

$$4 \cdot (17.5^2 + 25^2) \text{ mm}^2 = 3725 \text{ mm}^2$$

$$N_V := \frac{V_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 25 \text{ mm}}{3725 \text{ mm}^2}$$

$$N_V = \frac{4 \text{ kN}}{4} + \frac{0.2 \text{ kNm} \cdot 25 \text{ mm}}{3725 \text{ mm}^2}$$

$$N_V = 2.34 \text{ kN}$$

$$N_H := \frac{N_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 17.5 \text{ mm}}{3725 \text{ mm}^2}$$

$$N_H = \frac{28 \text{ kN}}{4} + \frac{0.2 \text{ kNm} \cdot 17.5 \text{ mm}}{3725 \text{ mm}^2}$$

$$N_H = 7.94 \text{ kN}$$

$$N_R := \sqrt{N_H^2 + N_V^2}$$

$$N_R = \sqrt{(2.34 \text{ kN})^2 + (7.94 \text{ kN})^2}$$

$$N_R = 8.28 \text{ kN}$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$

$$f_y := \begin{cases} 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \end{cases}$$

$$f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Überprüfung der Rand und Lochabstände :

kleinste Abstände :

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = \frac{1.2 \cdot 13\text{mm}}{20\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = 0.78$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = \frac{1.2 \cdot 13\text{mm}}{18\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = 0.87$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = \frac{2.2 \cdot 13\text{mm}}{50\text{mm}}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = 0.57$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = \frac{2.4 \cdot 13\text{mm}}{35\text{mm}}$$

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = 0.89$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

größte Abstände :

$$t_w := \min(t_p, t_w)$$

$$t = \min(6\text{mm}, 7.5\text{mm})$$

$$t = 6\text{mm}$$

$$e_{\max} := 4 \cdot t + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 4 \cdot 6\text{mm} + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 64\text{mm}$$

$$p_{\max} := \min(14 \cdot t, 200\text{mm})$$

$$p_{\max} = \min(14 \cdot 6\text{mm}, 200\text{mm})$$

$$p_{\max} = (84\text{mm}, 200\text{mm})$$

$$p_{\max} = 84\text{mm}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = \frac{20\text{mm}}{64\text{mm}}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = 0.31$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_1}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = \frac{18\text{mm}}{64\text{mm}}$$

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = 0.28$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_2}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = \frac{50\text{mm}}{64\text{mm}}$$

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = 0.6$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_1}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = \frac{35\text{mm}}{64\text{mm}}$$

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = 0.42$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_2}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 400 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \frac{0.84 \cdot \text{cm}^2}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 16.19 \text{ kN}$$

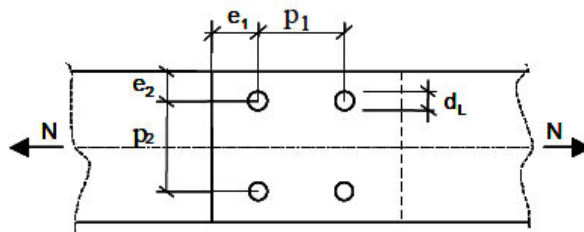
$$F_{v,Ed} := N_R \quad \textbf{Nachweis auf Abscheren :}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{8.28 \text{ kN}}{16.19 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 0.51 \quad \text{Nachweis = "erfüllt"}$$

Beanspruchung auf Lochleibung :



$$e_1 = 20 \text{ mm} \quad e_2 = 18 \text{ mm}$$

$$p_1 = 50 \text{ mm} \quad p_2 = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Bauteildicke : } t_w = t = 7.5 \text{ mm}$$

für am Rand liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_L}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{20 \text{ mm}}{3 \cdot 13 \text{ mm}}, \frac{400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{360 \frac{N}{\text{mm}^2}}, 1 \right) \quad \alpha_b = (0.51, 1.1, 1)$$

$$\alpha_b = 0.51$$

$$k_1 := \min \left(\frac{2.8 \cdot e_2}{d_L} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(\frac{2.8 \cdot 18 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{35 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \min(2.18, 2.07, 2.5)$$

$$k_1 = 2.07$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.07 \cdot 0.51 \cdot 360 \frac{N}{mm^2} \cdot 12mm \cdot 7.5mm}{1.25}$$

$$F_{b,Rd} = 27.5 kN$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{8.28kN}{27.5kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = 0.3$$

Nachweis = "erfüllt"

für innen liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_L} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{50 \cdot mm}{3 \cdot 13 \cdot mm} - \frac{1}{4}, \frac{400 \cdot \frac{N}{mm^2}}{360 \cdot \frac{N}{mm^2}}, 1 \right)$$

$$\alpha_b = \min(1.03, 1.11, 1)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$k_1 := \min \left(\frac{1.4 \cdot p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(\frac{1.4 \cdot 35mm}{13mm} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \min(3.77, 2.5)$$

$$k_1 = 2.07$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.07 \cdot 1 \cdot 360 \frac{N}{mm^2} \cdot 12mm \cdot 7.5mm}{1.25}$$

$$F_{b,Rd} = 53.63 kN$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{8.28kN}{53.64kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = 0.15$$

Nachweis = "erfüllt"

Tragfähigkeit der Stirnplatte

$$A_n := \left(h_p - \frac{n_{\text{Schr}}}{2} \cdot d_L \right) \cdot t_p \quad A_n = \left(71\text{mm} - \frac{4}{2} \cdot 13\text{mm} \right) \cdot 6\text{mm}$$

$$A_n = 2.7\text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} := \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_n \quad V_{c,Rd} = \frac{235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} \cdot 2.7\text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 36.63\text{ kN}$$

$$\frac{V}{V_{c,Rd}} = \frac{V_{Ed}}{2} \quad V = \frac{4\text{ kN}}{2} \quad V = 2\text{ kN}$$

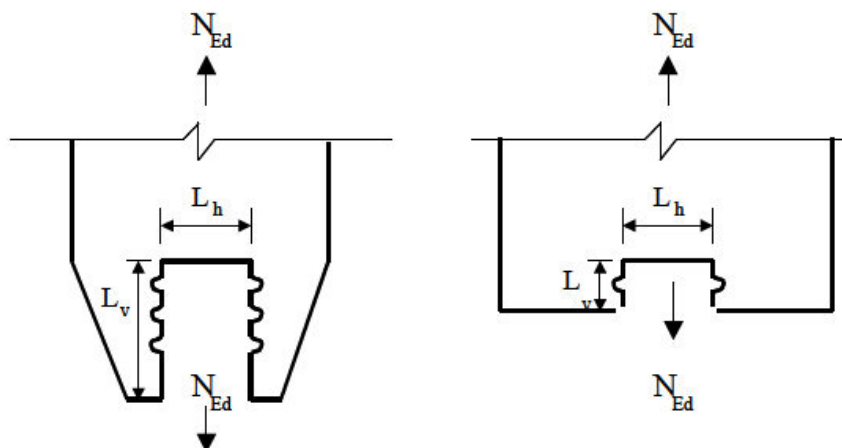
Nachweis Querkraftbeanspruchung

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{|V|}{V_{c,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{|V|}{V_{c,Rd}} = \frac{2\text{ kN}}{36.63\text{ kN}} \quad \frac{|V|}{V_{c,Rd}} = 0.05 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Blockversagen durch Schraubengruppen :

Symmetrische Schraubengruppe unter zentrischer Belastung



$$N_{Ed} := 28 \text{ kN}$$

$$L_v := 70 \text{ mm}$$

$$L_h := 35 \text{ mm}$$

Anzahl der Schrauben in vertikaler Richtung :

$$n_v := 2$$

Lochdurchmesser :

$$d_L = 13 \text{ mm}$$

Blechstärke :

$$t_p = 6 \text{ mm}$$

zugbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche :

$$A_{nt} := [L_h - (n_v - 1.0) \cdot d_L] \cdot t_p$$

$$A_{nt} = [35 \text{ mm} - (2 - 1) \cdot 13 \text{ mm}] \cdot 6 \text{ mm}$$

$$A_{nt} = 132 \text{ mm}^2$$

Anzahl der Schrauben in horizontaler Richtung :

$$n_h := 2$$

schubbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche :

$$A_{nv} := 2[L_v - (n_h - 0.5)d_L]t_p$$

$$A_{nv} = 2[70 \text{ mm} - (2 - 0.5)13 \text{ mm}] 6 \text{ mm}$$

$$A_{nv} = 606 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} := \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + f_y \cdot \frac{A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = 360 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{132 \cdot \text{mm}^2}{1.25} + 235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{606 \cdot \text{mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.0}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = 120.24 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{N_{Ed}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} = \frac{28 \text{ kN}}{120.24 \text{ kN}} \quad \frac{N_{Ed}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} = 0.23$$

Nachweis = "erfüllt"

5.3 weitere Anschlüsse

Der Anschluss UNP 160 – Pos. 1 (UNP160 an HEA140), Anschluss UNP 120 an HEA120 – Pos.2, Anschluss HEA140 Pos.3, Anschluss HEA 120 Pos. 5, Anschluss UNP 220 Pos. 6 Anschluss QR 60x5 Pos. 7, Anschlüsse RR 80x40x5 und Rd 76x5 Pos. 6, Zugstabanschlüsse Pos. 10 Rd 18 und Pos.11 Rd 20 und Zugstabanschlüsse Pos.12 Rd 24 befinden sich im Anhang C.

6 Auswertung

6.1 Vergleich der Ergebnisse der Anschlüsse aus DIN 18800 und EC 3

	DIN 18800 (Ausnutzungs- grad)	Eurocode (Ausnutzungsgrad)
Anschluss UNP 160 Pos.1		
Schweißnaht-Nachweis	0,34	0,32
Schrauben-Nachweis	0,33	Abscheren: 0,51 Lochleibung (außen): 0,3 Lochleibung (innen): 0,15
Blech-Nachweis	0,4	0,05
Risslinie	0,3	Blockversagen: 0,23
Anschluss UNP 120 Pos.2		
Schweißnaht-Nachweis	0,98	0,65
Schrauben-Nachweis	0,74	Abscheren: 0,95 Lochleibung (außen): 0,6 Lochleibung (innen): 0,31
Blech-Nachweis	0,81	0,05
Risslinie	0,52	Blockversagen: 0,49
Anschluss UNP 140 Pos.3		
Pressdruck-Nachweis	0,87	0,77
Flankenkehlnaht-Nachweis	0,87	0,87
Schweißnaht am Obergurt	0,94	0,92
Schrauben-Nachweis	0,99	Abscheren: 1,19 Lochleibung (außen): 1,25 Lochleibung (innen): 0,61 Blockversagen: 1,34
Schubfeld-Nachweis	0,5	0,36
DAST-Ri	17,4kNm<20,3kNm 25kN<68,7	17,4kNm<20,3kNm 25kN<68,7
Anschluss UNP 220 Pos.6		
Schweißnaht-Nachweis	0,54	0,28
Schrauben-Nachweis	0,69	Abscheren: 0,87 Lochleibung (außen): 0,27 Lochleibung (innen): 0,17
Anschluss QR60x5 Pos.7 als Strebe		
Schweißnaht-Nachweis	0,26	0,45
Schrauben-Nachweis	0,57	Abscheren: 0,86 Lochleibung (außen): 0,51 Lochleibung (innen): 0,34

Tabelle 53: Ergebnisvergleich der Anschlüsse

Quelle: Eigene Darstellung

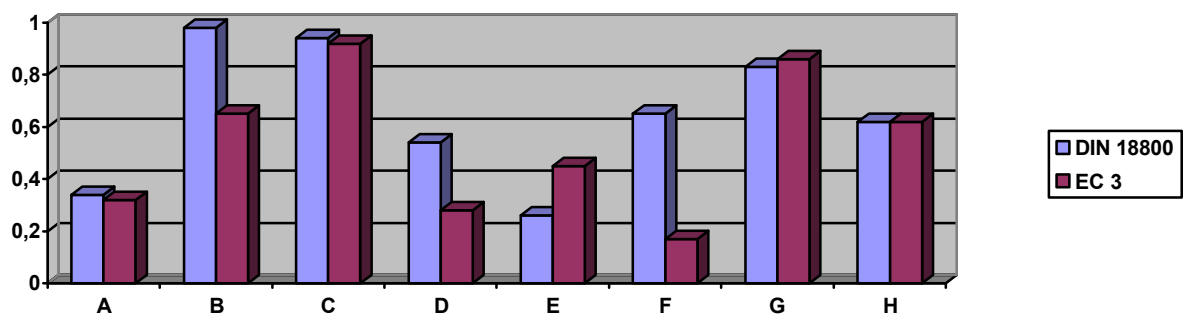
Anschluss QR60x5 Pos.7 als Geländerpfosten		
Schweißnaht-Nachweis	0,65	0,17
Schrauben-Nachweis	Abscheren: 0,33 Zug: 0,61 Abscheren und Zug: 0,47	Abscheren: 0,36 Zug: 0,98 Abscheren und Zug: 1,06 Lochleibung (außen): 0,08 Lochleibung (innen): 0,08
Anschluss Zugstab Pos.12		
Flankenkehlnaht-Nachweis	0,83	0,86
Schrauben-Nachweis	0,97	1,06
Stirnkehlnaht-Nachweis	0,62	0,62

Tabelle 54: Ergebnisvergleich der Anschlüsse (Fortsetzung)

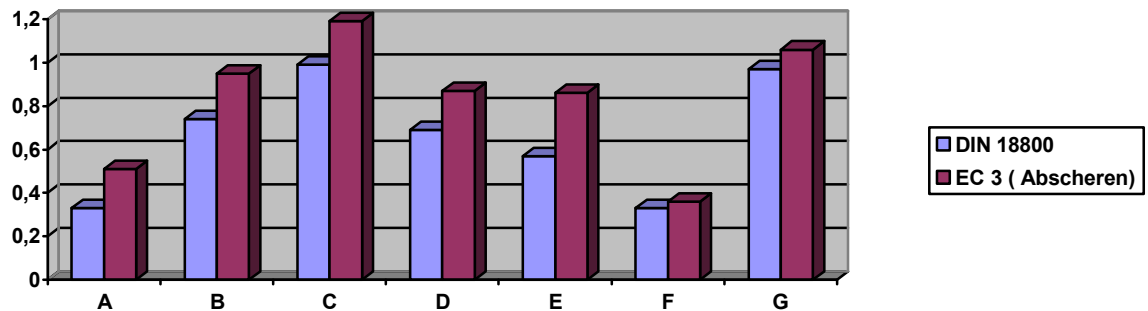
Quelle: Eigene Darstellung

Legende:

- A: Anschluss UNP 160 Pos.1
 B: Anschluss UNP 120 Pos.2
 C: Anschluss UNP 140 Pos.3
 D: Anschluss UNP 220 Pos.6
 E: Anschluss QR 60x5 Pos.7 (Strebe)
 F: Anschluss QR 60x5 Pos.7 (Geländerpfosten)
 G: Anschluss Zugstab Pos.12 – Flankenkehlnaht
 H: Anschluss Zugstab Pos.12 - Stirnkehlnaht

Ausnutzung- Schweißnaht:

Ausnutzungsgrad – Schrauben:



Die wissenschaftliche Untersuchung zeigt, dass die Auslastung der Schweißnähte bei gleichen Randbedingungen und Belastungen nach EC 3 teilweise höher sind, als die der DIN-Nachweisführung.

Der Unterschied lässt sich u.a. mit der Schweißnahtlänge erklären. Nach EC 3 wird die Schweißnahtlänge zweimal (an dem Nahtanfang und Nahtende) durch das Wurzelmaß a abgemindert, dadurch wird der Anfangs- und Endkrater als nicht tragfähig gewertet. Dieser Effekt wird tendenziell geringer mit wachsender Nahtlänge.

Auch die Berechnungsmethodik nach neuer Norm verursacht die Abweichungen der Ergebnisse zwischen beiden Normen. Nach DIN 18800 war bei einer einachsigen Biegung ein einfacher Spannungsnachweis ausreichend, nach Eurocode muss hingegen im richtungsbezogenem Verfahren ein Interaktionsnachweis geführt werden.

Bei der Ermittlung des Grenzzustandes muss nach DIN mit der Stechgrenze des Grundmaterials und nach EC mit der Zugfestigkeit gerechnet werden, dies sorgt für eine höhere Grenzspannung nach Eurocode.

Der Ergebnisvergleich der Risslinie bzw. dem Blockversagen der Schrauben zeigt nur geringe Differenzen, obwohl die Nachweisführungen sehr unterschiedlich sind. Nach DIN führt beispielsweise die Risslinie durch ein Schraubenpaar und wird dann in einem 60° Winkel aus dem Blech geleitet. Nach Eurocode entsteht eine längere Risslinie, die das komplette Schraubenbild herausreißt.

Weiterhin wird nach DIN 18800 eine Grenzspannung mit der Zugfestigkeit für den Spannungsnachweis berechnet. Nach EC wird eine Grenzkraft mit der Zugfestigkeit und der Streckgrenze ermittelt. Grund dafür ist, dass das Rissbild parallel aber auch senkrecht zu der angreifenden Kraft verlaufen kann.

Weiterhin sind die Ergebnisse auch stark von der Bauteilgeometrie und Blechdicke abhängig.

Die Berechnung der Risslinie nach DIN 18800 ist umfangreicher in Bezug auf den Rechenaufwand, im Vergleich zu dem Blockversagen der Schrauben nach EC 3.

Bei dem Nachweis der Schrauben auf Abscheren zeigen alle Ergebnisse nach Eurocode eine höhere Auslastung. Verursacht wird dieser Effekt durch den veränderten Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,1$ nach DIN auf $\gamma_{M2} = 1,25$ nach EC3. Der Rechenaufwand ist gleich.

Die Untersuchung auf Lochleibung zeigt viel geringere Ausnutzungsgrade nach Eurocode.

Die Gründe liegen auch in diesem Fall darin, dass die DIN auf Berechnungen mit der Streckgrenze und der Eurocode auf denen der Zugfestigkeit basiert.

Die unterschiedlichen Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M = 1,1$ nach DIN und $\gamma_{M2} = 1,25$ nach EC3 führen zusätzlich zu Differenzen beider Ergebnisse.

Aber auch der Beiwert α_d nach Eurocode, welcher die Loch- und Randabstände senkrecht zur Kraft-richtung berücksichtigt, beeinflusst die Ergebnisse. In der DIN war nur ein Beiwert in Krafrichtung anzusetzen.

6.2 Zusammenfassung der Nachweise der Anschlüsse

In den voran gegangenen Kapiteln sollten durch theoretische Grundlagen, sowie dem Berechnungsbeispiel der stählernen Fluchtreppenanlage, wesentliche Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Berechnungsmodelle nach DIN 18800 und Eurocode dargestellt werden.

Eine eindeutige Gesamtaussage bzw. Bewertung beider Normen ist nicht pauschalisierbar, da die Werte und einzelnen Aussagen der Nachweise in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und dem Rechenaufwand sehr unterschiedlich sind. Tendenziell ist die Rechenmethodik nach Eurocode 3 zeitaufwendiger und komplexer, was auf eine unwirtschaftlichere Methode hinweist.

Vergleicht man die Wirtschaftlichkeit in Bezug auf den Materialeinsatz, z.B. Schrauben und Schweißnähte, ist die alte Norm im Vorteil, da diese höhere Kräfte aufnehmen kann.

Die Nachweise des Grundmaterials, wie die Nachweise der Lochleibung, der Risslinie aber auch des Querschnitts, zeigen nach EC höher aufnehmbare Kräfte. Dadurch können kleinere Profilquerschnitte bei den Konstruktionsbemessungen verwendet werden. Dadurch werden die Materialkosten gesenkt.

6.3 Konstruktive Anschlüsse nach Eurocode

In dem Kapitel 6 wurden die Anschlüsse, die durch die Aufgabenstellung bereits vorgegeben waren, nach Eurocode neu berechnet. An den Anschlüssen UNP 140 Pos.3 konnten dabei die Nachweise auf Abscheren, Lochleibung, sowie dem Blockversagen nicht erfüllt werden. Der Anschluss QR60x5 Pos.7 als Geländerpfosten zeigte ebenfalls für den kombinierten Nachweis auf Abscheren und Zug einen höheren Ausnutzungsgrad als 100% auf und der Anschluss Zugstab Pos.12 konnte den Belastungen auf die Schrauben nicht Stand halten.

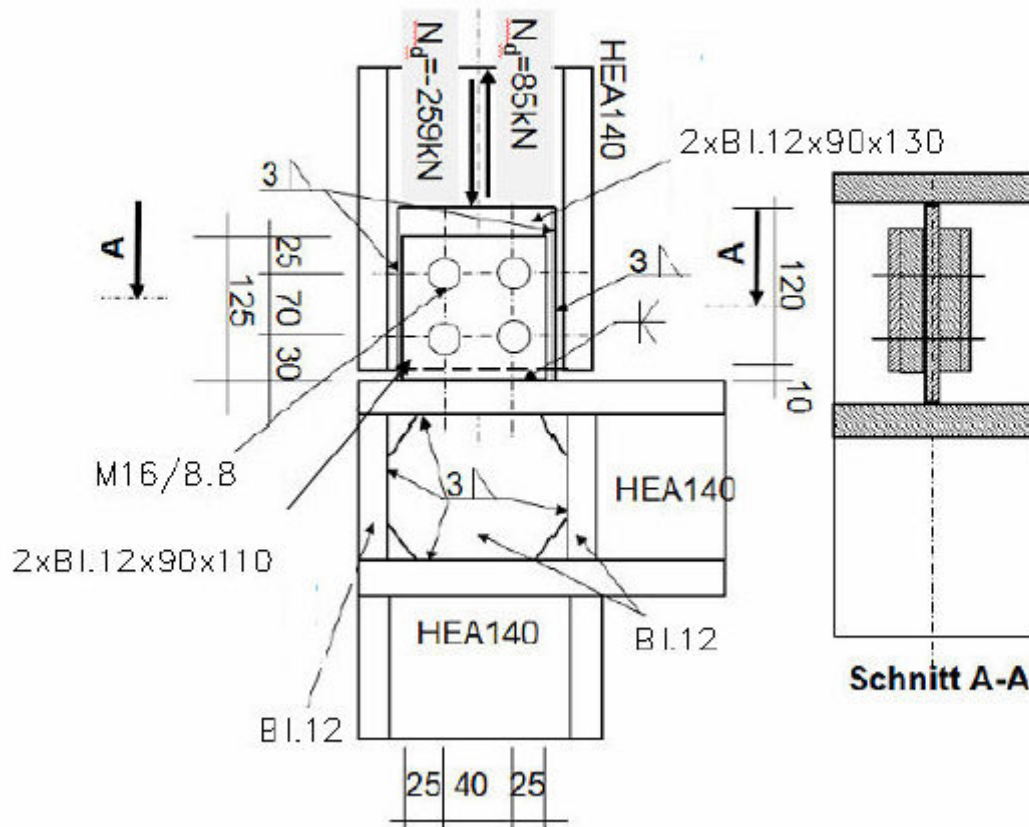
In diesem Kapitel sollen diese drei Anschlüsse neu ausgebildet werden, so dass Diese auch nach Eurocode die zuführenden Nachweise erfüllen.

6.3.1 Anschlüsse UNP 140 Pos.3

Um nach Eurocode die Nachweise zu erfüllen, wurde an diesem Anschluss die Blechstärke von 8mm auf 12mm erhöht und die Festigkeitsklasse der Schrauben auf 8.8 von 4.6 geändert.

Nachweis Pos.3 Anschluss HE A 140

$\max N_d = -259 \text{ kN}$, $\max N_d = +85 \text{ kN}$, $\max V_{zd} = 25 \text{ kN}$ (LG 8)



Schraubennachweis 4 M16/4.6

$$\max V_{d,z} = 259 \text{ kN}; H_d = 25 \text{ kN}; M_d = 25 \cdot 0,07 = 1,75 \text{ kNm}$$

Querschnitte und Geometrie

Schrauben:

Schraubenkennwerte:

Festigkeitsklasse := 8.8

charakteristische Festigkeiten :

$$f_{ub} := \begin{cases} 400 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 500 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 800 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 1000 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{ub} = 800 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{yb} := \begin{cases} 240 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 300 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 640 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 900 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{yb} = 640 \frac{N}{mm^2}$$

Gewindedurchmesser :

$$d := 16mm$$

Art der Schraube :

$$Art := R$$

Eingabe
P... Passschraube
R... rohe Schraube

Anzahl der Schrauben :

$$n_{Schr} := 4$$

Schaftdurchmesser :

$$d_s := \begin{cases} d & \text{if Art} = R \\ d + 1mm & \text{if Art} = P \end{cases}$$

$$d_s = 16mm$$

Lochdurchmesser :

$$d_L := 17mm$$

Lochdurchmesser bei "rohen" Schrauben 1 oder 2 mm größer wählen als d (Regelfall 1mm)

Schaftquerschnitt :

$$A := \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \quad A = \pi \cdot \frac{(16mm)^2}{4}$$

$$A = 201.06 mm^2$$

Spannungsquerschnitt :

$$A_S := \begin{cases} 84.3\text{mm}^2 & \text{if } d = 12\text{mm} \\ 157\text{mm}^2 & \text{if } d = 16\text{mm} \\ 245\text{mm}^2 & \text{if } d = 20\text{mm} \\ 303\text{mm}^2 & \text{if } d = 22\text{mm} \\ 353\text{mm}^2 & \text{if } d = 24\text{mm} \\ 459\text{mm}^2 & \text{if } d = 27\text{mm} \\ 561\text{mm}^2 & \text{if } d = 30\text{mm} \\ 817\text{mm}^2 & \text{if } d = 36\text{mm} \end{cases}$$

$$A_S = 157\text{mm}^2$$

Gewindeteil in :

$$\text{Scherfuge} := j$$

Eingabe :
j...Gewindeteil
befindet sich in
Scherfuge
n...außerhalb

maßgebender Schaftquerschnitt :

$$\underline{A} := \begin{cases} A & \text{if } \text{Scherfuge} = n \\ A_S & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A = 157\text{mm}^2$$

Verbindung :

$$\text{Verbindung} := \begin{cases} \text{"SL"} & \text{if } \text{Art} = R \\ \text{"SLP"} & \text{if } \text{Art} = P \end{cases}$$

$$\text{Verbindung} = \text{"SL"}$$

Platte :

$$\text{Breite : } b_p := 130\text{mm}$$

$$\text{Höhe : } h_p := 90\text{mm}$$

$$\text{Dicke : } t_p := 12\text{mm}$$

Lochabstände :

$$p_1 := 70\text{mm} \quad e_1 := 25\text{mm}$$

$$p_2 := 40\text{mm} \quad e_2 := 25\text{mm}$$

Teilsicherheitsbeiwerte :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Einwirkungen :

$$V_{Ed} := 259 \text{ kN} \quad N_{Ed} := 25 \text{ kN} \quad M_{Ed} := 1.75 \text{ kNm}$$

$$4 \cdot (35^2 + 20^2) \text{ mm}^2 = 6500 \text{ mm}^2$$

$$N_V := \frac{V_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 20 \text{ mm}}{6500 \text{ mm}^2} \quad N_V = \frac{259 \text{ kN}}{4} + \frac{1.75 \text{ kNm} \cdot 20 \text{ mm}}{6500 \text{ mm}^2} \quad N_V = 70.13 \text{ kN}$$

$$N_H := \frac{N_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 35 \text{ mm}}{6500 \text{ mm}^2} \quad N_H = \frac{25 \text{ kN}}{4} + \frac{1.75 \text{ kNm} \cdot 35 \text{ mm}}{6500 \text{ mm}^2} \quad N_H = 15.67 \text{ kN}$$

$$N_R := \sqrt{N_H^2 + N_V^2}$$

$$N_R = \sqrt{(15.67 \text{ kN})^2 + (70.13 \text{ kN})^2}$$

$$N_R = 71.86 \text{ kN}$$

Material : Stahl := S235Zugfestigkeit des Bauteils

$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$

$$f_y := \begin{cases} 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Stahl} = \text{S235} \\ 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Stahl} = \text{S355} \end{cases}$$

$$f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Überprüfung der Rand und Lochabstände :

kleinste Abstände :

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = \frac{1.2 \cdot 17\text{mm}}{25\text{mm}} \quad \frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = 0.82 \quad \text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = \frac{1.2 \cdot 17\text{mm}}{25\text{mm}} \quad \frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = 0.82 \quad \text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = \frac{2.2 \cdot 17\text{mm}}{70\text{mm}} \quad \frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = 0.53 \quad \text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = \frac{2.4 \cdot 17\text{mm}}{40\text{mm}} \quad \frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = 1.02 \quad \text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "nicht erfüllt"

größte Abstände :

$$t := \min(t_p) \quad t = 12\text{mm}$$

$$e_{\max} := 4 \cdot t + 40\text{mm} \quad e_{\max} = 4 \cdot 12\text{mm} + 40\text{mm} \quad e_{\max} = 88\text{mm}$$

$$p_{\max} := \min(14 \cdot t, 200\text{mm}) \quad p_{\max} = \min[(14 \cdot 12\text{mm} = 168\text{mm}), 200\text{mm}] \quad p_{\max} = 168\text{mm}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = \frac{25\text{mm}}{88\text{mm}}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = 0.28$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_1}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = \frac{25\text{mm}}{88\text{mm}}$$

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = 0.28$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_2}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = \frac{70\text{mm}}{168\text{mm}}$$

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = 0.42$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_1}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = \frac{40\text{mm}}{168\text{mm}}$$

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = 0.24$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_2}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 800 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \frac{1.57 \cdot \text{cm}^2}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 60.29 \text{ kN} \quad \text{pro Scherfuge}$$

Anzahl der Scherfugen : $n_s = 2$

$$F_{v,Rd} \cdot n = 60.29 \text{ kN} \cdot 2 \quad F_{v,Rd} \cdot n = 120.58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} := 120.58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} := N_R$$

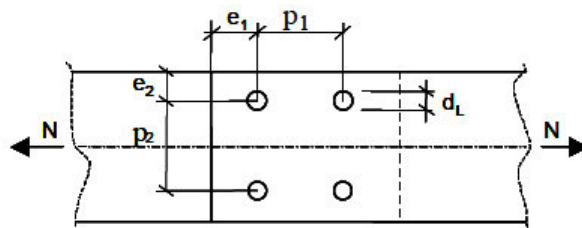
$$F_{v,Ed} = 71.86 \text{ kN}$$

Nachweis auf Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{71.86 \text{ kN}}{120.58 \text{ kN}} \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 0.6 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Beanspruchung auf Lochleibung :



$$e_1 = 25 \text{ mm} \quad e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$p_1 = 70 \text{ mm} \quad p_2 = 40 \text{ mm}$$

Bauteildicke : $t_w = 12 \text{ mm}$

für am Rand liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_L}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{25 \text{ mm}}{3 \cdot 17 \text{ mm}} = 0.49, \frac{800 \frac{N}{\text{mm}^2}}{360 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 2.22, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 0.49$$

$$k_1 := \min \left(\frac{2.8 \cdot e_2}{d_L} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \left(\frac{2.8 \cdot 25\text{mm}}{17\text{mm}} - 1.7 = 2.42, 1.4 \cdot \frac{40\text{mm}}{17\text{mm}} - 1.7 = 1.59, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 1.59$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{2k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad F_{b,Rd} = \frac{2 \cdot 1.59 \cdot 0.49 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 16\text{mm} \cdot 12\text{mm}}{1.25}$$

$$F_{b,Rd} = 86.42 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{71.86 \text{ kN}}{86.42 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = 0.83$$

Nachweis = "erfüllt"

für innen liegende Schrauben :

$$\alpha_{bv} := \min \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_L} - \frac{1}{4} \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{70\text{mm}}{3 \cdot 17\text{mm}} - \frac{1}{4} = 1.12, \frac{800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 2.22, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$k_1 := \min \left(\frac{1.4 \cdot p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(\frac{1.4 \cdot 40\text{mm}}{17\text{mm}} - 1.7 = 1.59, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 1.59$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{2k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad F_{b,Rd} = \frac{2 \cdot 1.59 \cdot 1 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 16\text{mm} \cdot 8\text{mm}}{1.25}$$

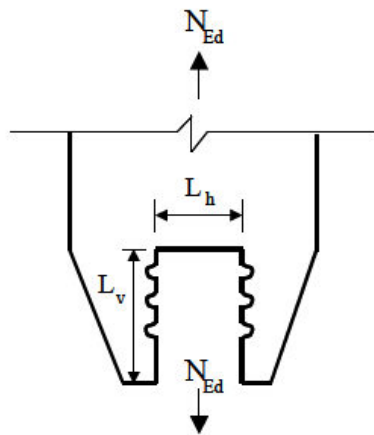
$$F_{b,Rd} = 176.3 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{71.86 \text{ kN}}{176.3 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = 0.41$$

Nachweis = "erfüllt"

Blockversagen durch Schraubengruppen :**Symmetrische Schraubengruppe unter zentrischer Belastung**

$$N_{Ed} := 259 \text{ kN}$$

$$L_v := 90 \text{ mm}$$

Anzahl der Schrauben in vertikaler Richtung :

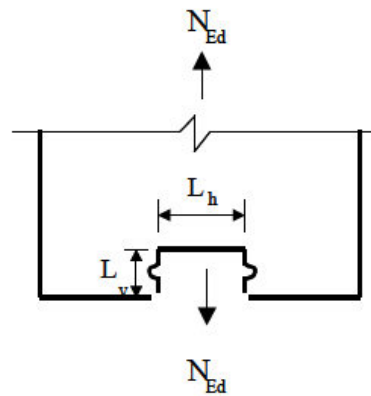
Lochdurchmesser :

Blechstärke :

zugbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche :

Anzahl der Schrauben in horizontaler Richtung :

schubbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche :



$$L_h := 40 \text{ mm}$$

$$n_v := 2$$

$$d_L = 17 \text{ mm}$$

$$t_p = 12 \text{ mm}$$

$$A_{nt} := [L_h - (n_v - 1.0) \cdot d_L] \cdot t_p$$

$$A_{nt} = [40 \text{ mm} - (2 - 1) \cdot 17 \text{ mm}] \cdot 12 \text{ mm}$$

$$A_{nt} = 276 \text{ mm}^2$$

$$n_h := 2$$

$$A_{nv} := 2[L_v - (n_h - 0.5)d_L]t_p$$

$$A_{nv} = 2[90 \text{ mm} - (2 - 0.5) \cdot 17 \text{ mm}] \cdot 12 \text{ mm}$$

$$A_{nv} = 1548 \text{ mm}^2$$

$$\chi_{M0} := 1.0$$

$$\chi_{M2} := 1.25$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} := \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + f_y \cdot \frac{A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot (276 \text{ mm}^2)}{1.25} + 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \left(\frac{1548 \text{ mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.0} \right)$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = 289.52 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{\text{Ed}}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

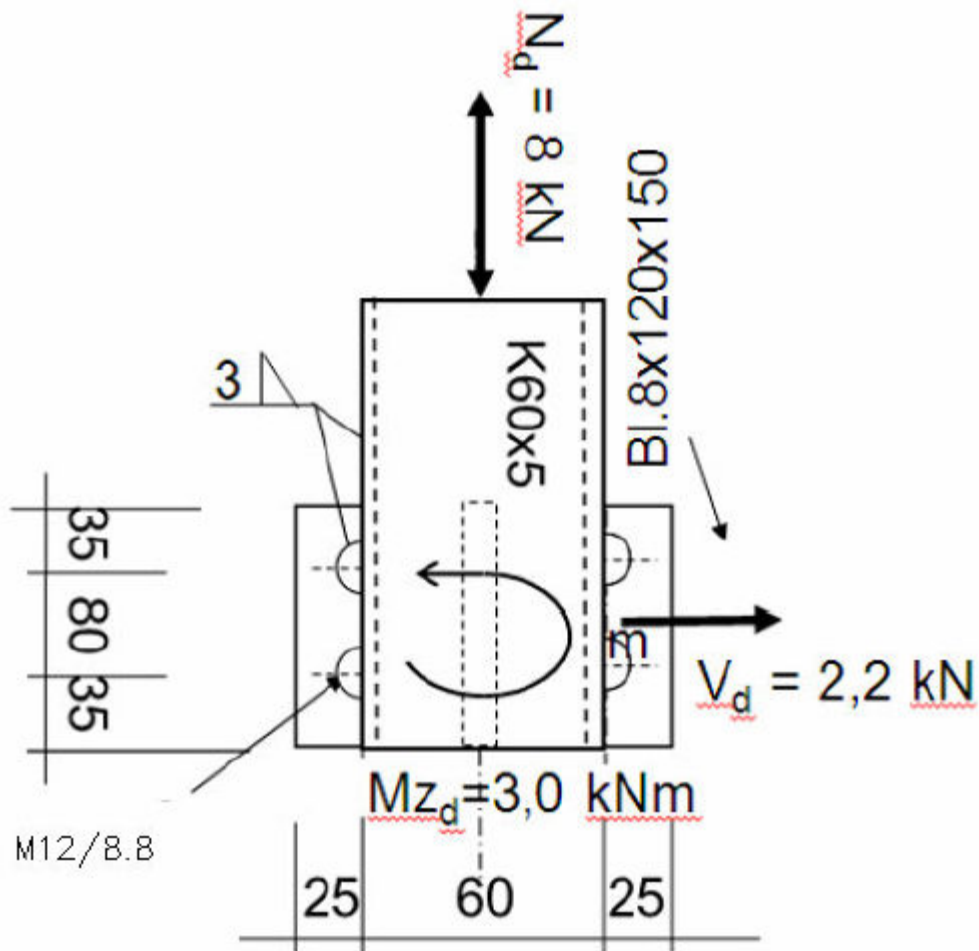
$$\frac{N_{\text{Ed}}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} = \frac{259 \text{ kN}}{289.52 \text{ kN}}$$

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} = 0.89$$

Nachweis = "erfüllt"

6.3.2 Anschluss QR60x5 Pos.7 als Geländerpfosten

Um nach Eurocode die Nachweise zu erfüllen, wurde an diesem Anschluss die Festigkeitsklasse der Schrauben auf 8.8 von 4.6 geändert.



Schrauben :

Schraubenkennwerte :

Festigkeitsklasse := 8.8

charakteristische Festigkeiten :

$$f_{ub} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Einwirkungen : $V_{Ed} := 8\text{ kN}$ $N_{Ed} := 2.2\text{ kN}$ $M_{Ed} := 3\text{ kNm}$ $M := 2\text{ kNm}$

$$4 \cdot (40^2 + 30^2) \text{ mm}^2 = 10000 \text{ mm}^2$$

$$N_V := \frac{V_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M \cdot 30\text{ mm}}{10000 \text{ mm}^2} \quad N_V = \frac{8\text{ kN}}{4} + \frac{2\text{ kNm} \cdot 30\text{ mm}}{10000 \text{ mm}^2} \quad N_V = 8\text{ kN}$$

$$N_H := \frac{N_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M \cdot 40\text{ mm}}{10000 \text{ mm}^2} \quad N_H = \frac{2.2\text{ kN}}{4} + \frac{2\text{ kNm} \cdot 40\text{ mm}}{10000 \text{ mm}^2} \quad N_H = 8.55\text{ kN}$$

$$N_R := \sqrt{N_H^2 + N_V^2}$$

$$N_R = \sqrt{(8.55\text{ kN})^2 + (8\text{ kN})^2}$$

$$N_R = 11.71\text{ kN}$$

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 800 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \frac{0.84 \cdot \text{cm}^2}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 32.37\text{ kN} \quad \text{pro Scherfuge}$$

Anzahl der Scherfugen :

$$F_{v,Rd} = 32.37\text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} := N_R \quad F_{v,Ed} = 11.71\text{ kN}$$

Nachweis auf Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = \frac{11.71 \text{ kN}}{32.37 \text{ kN}} \quad \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.36 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Beanspruchung einer Schraube auf Zug in Schaftrichtung :

vorhandene Zugkraft : $Z_d := \frac{3 \text{ kNm}}{80 \text{ mm}} + \frac{0.8 \text{ kNm}}{80 \text{ mm}} \quad Z_d = 47.5 \text{ kN}$

oberes Schraubenpaar : $Z_{d1} := \frac{Z_d}{2} \quad Z_{d1} = \frac{47.5 \text{ kN}}{2} \quad Z_{d1} = 23.75 \text{ kN}$

$$F_{t.Ed} := Z_{d1} \quad F_{t.Ed} = 23.75 \text{ kN}$$

Schraube :

$$\text{Senkschraube} := n$$

$$k_2 := \begin{cases} 0.63 & \text{if Senkschraube} = j \\ 0.9 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k_2 = 0.9$$

Grenzzugkraft :

$$F_{t.Rd} := k_2 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_{sp}}{\gamma_{M2}} \quad F_{t.Rd} = 0.9 \cdot 800 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{0.84 \cdot \text{cm}^2}{1.25}$$

$$F_{t.Rd} = 48.56 \text{ kN}$$

Nachweis auf Zugbeanspruchung :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{t.Ed}}{F_{t.Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{t.Ed}}{F_{t.Rd}} = \frac{23.75 \text{ kN}}{48.56 \text{ kN}} \quad \frac{F_{t.Ed}}{F_{t.Rd}} = 0.49 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Beanspruchung auf Zug und Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{t.Ed}}{F_{t.Rd} \cdot 1.4} + \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

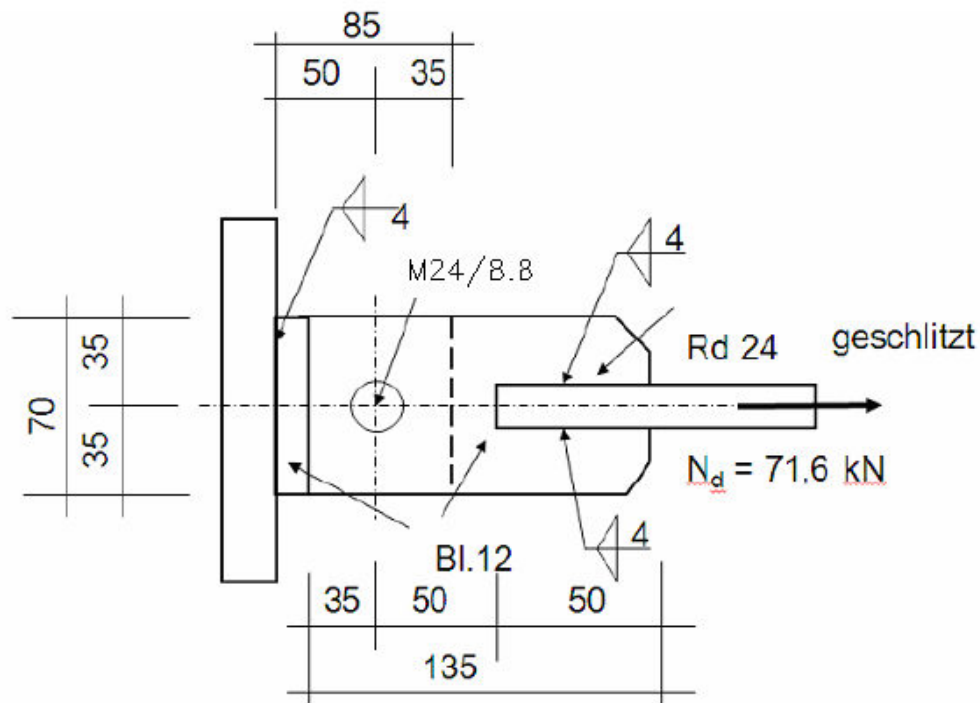
$$\frac{F_{t.Ed}}{F_{t.Rd} \cdot 1.4} + \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = \frac{23.75 \text{ kN}}{48.56 \text{ kN} \cdot 1.4} + \frac{11.71 \text{ kN}}{32.37 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{t.Ed}}{F_{t.Rd} \cdot 1.4} + \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.71$$

Nachweis = "erfüllt"

6.3.3 Anschluss Zugstab Pos.12

Um nach Eurocode die Nachweise zu erfüllen, wurde an diesem Anschluss die Festigkeitsklasse der Schrauben auf 8.8 von 4.6 geändert.



Schraubennachweis M24/4.6

Querschnitte und Geometrie

Schrauben:

Schraubenkennwerte:

Festigkeitsklasse := 8.8

charakteristische Festigkeiten:

$$f_{ub} := \begin{cases} 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{ub} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 800 \cdot \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{3.53 \text{ cm}^2}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 135.55 \text{ kN} \quad \text{pro Scherfuge}$$

Anzahl der Scherfugen : $n := 1$

$$F_{v,Rd} \cdot n = 135.55 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 135.55 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} := N_{Ed} \quad F_{v,Ed} = 71.6 \text{ kN}$$

Nachweis auf Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{71.6 \text{ kN}}{135.55 \text{ kN}} \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 0.53 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

6.4 Ergebnisvergleich der Anschlüsse nach DIN 18800 und Eurocode

	Original Anschluss	veränderter Anschluss (EC gerecht)
Anschlüssen UNP 140 Pos.3 <ul style="list-style-type: none"> • Abscheren • Lochleibung (außen) • Lochleibung (innen) • Blockversagen 	1,19 1,25 0,61 1,34	0,6 0,83 0,41 0,89
Anschluss QR60x5 Pos.7 als Geländerpfosten <ul style="list-style-type: none"> • Abscheren • Zug • Abscheren + Zug 	0,36 0,98 1,06	0,36 0,49 0,71
Anschluss Zugstab Pos.12 <ul style="list-style-type: none"> • Abscheren 	1,06	0,53

Tabelle 55: Variantenvergleich

Quelle: Eigene Darstellung

Legende:

A: Abscheren

B: Lochleibung (außen)

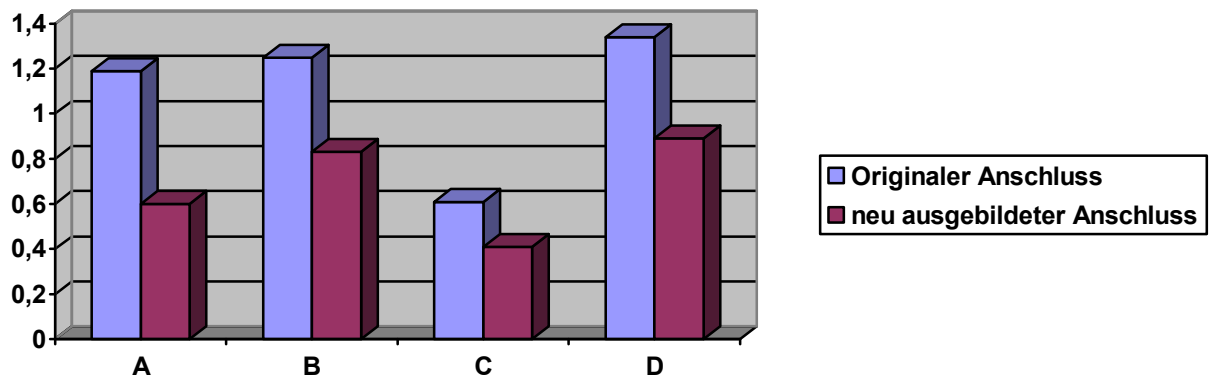
C: Lochleibung (innen)

D: Blockversagen

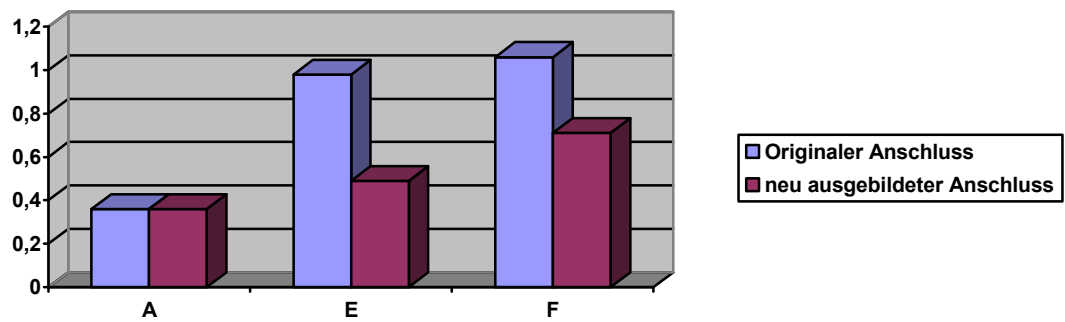
E: Zug

F: Abscheren + Zug

Ausnutzung- Anschluss UNP 140 Pos.3:

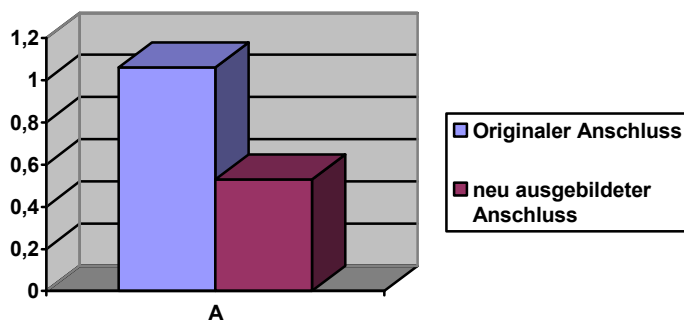


Ausnutzung- Anschluss QR60x5 Pos.7 als Geländerpfosten :



Ausnutzung- Anschluss Zugstab Pos. 12 :

.



Die konstruktiv neu ausgebildeten Anschlüsse erfüllen die Nachweise, welche in Ihren ursprünglichen Varianten einzelnen Nachweisen, wie den Schraubennachweisen, nicht gerecht wurden.

Durch die Veränderungen der Festigkeitsklasse der Schrauben von 4.6 auf 8.8, wurde die Zugfestigkeit von 400N/mm^2 auf 800N/mm^2 erhöht. Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf das Abscher- und Zugverhalten. Durch die Verdopplung des Wertes der Zugfestigkeit f_{ub} , reduziert sich der Ausnutzungsgrad der Abschernachweise, sowie des Zugnachweises um 50%, wie die Tab. 56 zeigt.

Die wissenschaftliche Untersuchung zeigte auch, dass eine Erhöhung der Plattenstärke positive Auswirkungen auf die Lochleibungsnachweise, aber auch auf das Blockversagen der Schrauben mit sich zieht.

Eine weitere konstruktive Möglichkeit für die Anschlüsse mit einem zu hohen Lochleibungsausnutzungsgrad bzw. Blockversagen ist es, zusätzliche Bleche an die kritischen Stellen der Schrauben zu schweißen.

7 Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit sollten die Unterschiede und Gemeinsamkeiten, sowie Vor- und Nachteile zwischen der deutsch Industrienorm und der europäischen Norm anhand von dem Berechnungsbeispiel einer stählernen Fluchttreppe dargestellt werden.

Im Wesentlichen ist ein Vorteil des Eurocodes, dass europaweit eine einheitliche Norm eingeführt wurde. Diese Vereinheitlichung erleichtert die Zusammenarbeit verschiedener Länder, berücksichtigt aber wiederum auch lokale Gegebenheiten und Besonderheiten z.B. in Hinsicht auf das Gelände, Landschaft und Klimagegebenheiten, der einzelnen Ländern in den Nationalen Anhängen.

Durch die Berechnung und Dimensionierung der Profile nach Eurocode werden wirtschaftliche Profile ermittelt, die gut an die vorhandenen Belastungen angepasst sind, jedoch ist dieses Verfahren mit mehr Aufwand verbunden im Vergleich zur bisherigen Berechnung nach DIN 18800.

Ein weiterer negativer Punkt in Hinsicht auf den Eurocode ist es, dass durch vielfältige Überarbeitungen die Softwareentwickler nur zögerlich an der Umsetzung des Europaketes teilnehmen und Statiksoftware erst angepasst werden muss.

Durch die Einführung der neuen Norm sind die Ingenieure der Herausforderung gestellt, diese in ihrer Planung korrekt umzusetzen, erschwert wird dieses durch die umfangreichen Änderungen. Speziell kleineren Ingenieurbüros fehlt oft das Geld für die kostenintensiven Schulungen und die Zeit für die sorgfältige Einarbeitung.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit bestätige ich, Julia Reinhard, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Ort, Datum

Unterschrift

8 Literatur

- [1] LAUFS, T.: "Bemessung und Nachweisführung einer stählernen Fluchttreppenanlage", Bauvorhaben „ehemalige Malzfabrik“, 08.11.2012
- [2] GÜNTHER,C.: Bachelorprojekt: "Normenvergleich DIN 18800 und EC 3 anhand der Bemessung einer Industriehalle mit Kranbahn", 2011
- [3] LAUFS, T.: „Einführung in den Metallbau“, Umdruck Glas- und Aluminiumbau Teil 1, 2010
- [4] FLECHSIG,S.: Bachelorarbeit: „Vergleichende Untersuchung zwischen DIN EN 1993 (Eurocode) und DIN 18800 am Beispiel von gelenkigen Anschlüssen (Stirplatte, Doppelwinkel)“, 2012
- [5] KINDMANN, R. / Stracke, M., Verbindungen im Stahl- und Verbundbau, 2. Auflage, Berlin : Verlag für Architektur und Wissenschaften GmbH & Co.KG, 2009
- [6] GORIS, A., Schneider, Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. Köln : Werner Verlag, 18. Auflage, 2008
- [7] KUHLMANN, U.: Stahlbau-Kalender 2011, 13. Jahrgang, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2011
- [8] LOHSE, W.: Stahlbau 2, 19.Auflage, Teubner Verlag, Leipzig, 2000
- [9] PETERSEN, CH.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, 2. Auflage, Vieweg, Braunschweig Wiesbaden, 1982
- [10] SCHNEIDER, Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. Köln : Werner Verlag, 19. Auflage, 2010
- [11] www.eurocode-online.de
- [12] access-steel.com
- [13] www.metallbau.bv.tum.de/download/category/3-unterlagen?...ec
- [14] <http://www.bingk.de>
- [15] <http://www.bfw-md.de>

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Nennwerte der Streckgrenzen für Baustähle bis 460 N/mm ² nach EC 3	6
Tabelle 2: Klassifizierung druckbeanspruchter Querschnitte	8
Tabelle 3: Klassifizierung druckbeanspruchter Querschnitte (Fortsetzung)	9
Tabelle 4: Klassifizierung druckbeanspruchter Querschnitte (Fortsetzung)	10
Tabelle 5.1: Kombinationsbeiwerte nach Eurocode	11
Tabelle 5.2: Kombinationsbeiwerte nach DIN 1055-100 Tab. A.2	12
Tabelle 6: Zusammenfassung	13
Tabelle 7: Zusammenfassung (Fortsetzung)	14
Tabelle 8: Zusammenfassung (Fortsetzung)	15
Tabelle 9: Zusammenfassung (Fortsetzung)	16
Tabelle 10: Vergleich der Bezeichnungen	17
Tabelle 11 : Vergleich der Berechnung ausgewählter Faktoren	17
Tabelle 12: Trägerbeiwerte n	21
Tabelle 13: Momentenbeiwerte ζ	21
Tabelle 14: Auswahl der Knicklinie eines Querschnitts	27
Tabelle 15: Imperfektionsbeiwerte der Knicklinie α	28
Tabelle 16: Äquivalente Momentenbeiwerte C_m	29
Tabelle 17: Imperfektionsbeiwerte α_{LT}	30
Tabelle 18: Knicklinien Biegedrillknicken	30
Tabelle 19: Charakteristische Werte für Schraubenwerkstoffe	32
Tabelle 20: Einteilung der Schrauben	34
Tabelle 21: Einteilung der Schrauben (Fortsetzung)	35
Tabelle 22: Nennlochspiel	36
Tabelle 23: Zusammenwirken verschiedener Verbindungsmittel	37
Tabelle 24: Schaftdurchmesser	38
Tabelle 25: Abstandsmaße	39
Tabelle 26: Abstandsmaße (Fortsetzung)	40
Tabelle 27: Formelzeichen	41
Tabelle 28: Abscheren	42
Tabelle 29: Lochleibung	43
Tabelle 30: Lochleibung (Fortsetzung)	44
Tabelle 31: Zugbeanspruchung	45
Tabelle 32: Durchstanzen	46
Tabelle 33: Zug und Abscheren	47
Tabelle 34: Risslinie/Blockversagen	48
Tabelle 35: Risslinie/Blockversagen (Fortsetzung)	49
Tabelle 36: Konstruktive Festlegungen	50
Tabelle 37: Konstruktive Festlegungen (Fortsetzung)	51
Tabelle 38: Spannungen und äußere Einflüsse	52
Tabelle 39: Bestimmung Grenzscheißnahtspannung	53

Tabelle 40: Nachweise Stumpfnah	54
Tabelle 41: Nachweise Kehlnah	55
Tabelle 42: Einwirkung durch Schub längs der Nah	56
Tabelle 43: Einwirkung durch Zug/Druck quer zu der Nah	57
Tabelle 44: Ermittlung Grenzsweißnah	57
Tabelle 45: Ermittlung $\sigma_{vv,Rd}$	58
Tabelle 46: Nachweis richtungsbezogenes Verfahren	58
Tabelle 47: Berechnung der Einwirkung vereinfachtes Verfahren	60
Tabelle 48: Ermittlung $F_{vw,Rd}$	60
Tabelle 49: Nachweis vereinfachtes Verfahren	61
Tabelle 50: Querschnittswerte	67
Tabelle 51: Ergebnisse Querschnitts- und Stabilitätsnachweise	91
Tabelle 53: Ergebnisvergleich der Anschlüsse	112
Tabelle 54: Ergebnisvergleich der Anschlüsse (Fortsetzung)	113
Tabelle 55: Variantenvergleich	132
Tabelle 56: Grenzzugkräfte $F_{t,Rd}$ für eine Schraube in kN	247
Tabelle 57: Schraubenmaße in mm für Sechskantschrauben mit großen Schlüsselweiten	250
Tabelle 58: Grenzabscherkraft $F_{v,Rd}$ in kN für eine Scherfläche	251

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Knicklinien	28
Abbildung 2: Stumpfnah	52
Abbildung 3: Kehlnah	54
Abbildung 4: Schweißnahtspannungen der Kehlnah	55
Abbildung 5: Berechnungsmodell richtungsbezogenes Verfahren	56
Abbildung 6: Beanspruchungen vereinfachtes Verfahren	59
Abbildung 7: Berechnungsmodell vereinfachtes Verfahren	59
Abbildung 8: Übersicht Lage der Fluchttreppe am Gesamtbauwerk	62
Abbildung 9: lokale Einbausituation der Fluchttreppe in der Einbaunische	63
Abbildung 10: Ansicht der nachzuweisenden Treppenanlage mit Abmessungen	65
Abbildung 11: Positionsplan	66
Abbildung 12: Ausschnitt Querschnittsanordnung UNP 160 - Pos.1	68
Abbildung 13: Ausschnitt Querschnittsanordnung UNP 120 - Pos.2	68
Abbildung 14: Ausschnitt Querschnittsanordnung HEA 140 - Pos.3	69
Abbildung 15: Ausschnitt Querschnittsanordnung HEA 140 - Pos.4	69
Abbildung 16: Ausschnitt Querschnittsanordnung HEA 120 - Pos. 5	70
Abbildung 17: Ausschnitt Querschnittsanordnung U 220 - Pos. 6	70
Abbildung 18: Ausschnitt Querschnittsanordnung QR 60x5 - Pos. 7	71
Abbildung 19: Ausschnitt Querschnittsanordnung RR 80x40x5 - Pos. 8	71
Abbildung 20: Ausschnitt Querschnittsanordnung Rd 18 - Pos. 10	72
Abbildung 21: Ausschnitt Querschnittsanordnung Rd 20 - Pos. 11	72
Abbildung 22: Ausschnitt Querschnittsanordnung Rd 24 - Pos. 12	73
Abbildung 23: Überblick vorhandener Anschlüsse	95
Abbildung 24: Beiwerte α	248

Anlagen

1 Anlage 1 Charakteristische Schraubenwerkstoffwerte

de: Festigkeitsklasse		4.6	-	5.6	-	-	8.8	10.9
eu: Schraubenfestigkeitsklasse		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
Streckgrenze: N/mm ²	de: f _{y,b,k}	240	-	300	-	-	640	900
	eu: f _{yb}	240	320	300	400	480	640	900
Zugfestigkeit: N/mm ²	de: f _{u,b,k}	400	400	500	-	-	800	1000
	eu: f _{ub}	400	400	500	500	600	800	1000

Quelle[4]

2 Anlage 2 Schaft- und Spannungsquerschnitte

Angabe in [mm ²]	Gewinde							
	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Schaftquerschnitt	113	201	314	380	452	573	707	1018
SL/GV/HR/HV SLP/GVP/HV(P)	133	227	346	415	491	616	755	1075
Spannungsquerschnitt	84,3	157	245	303	353	459	561	817

Quelle[4]

3 Anlage 3 Charakteristische Grundwerkstoffwerte

Stahlsorte		S 235	S 275	S 355
Streckgrenze: N/mm ²	de: $f_{y,k}$	240	275	360
	eu: f_{yk}	235	275	355
Zugfestigkeit: N/mm ²	de: $f_{u,k}$	360	410	470
	eu: f_{uk}	360	430	490

Quelle[4]

Anhang

Anhang A : Querschnittsklassifizierung der Positionen 2 bis 12

Anhang B : Querschnitts- und Stabilitätsnachweise der Positionen 2 bis 5

Anhang C : Anschlussberechnung

Anhang A

Querschnittsklassifizierung der Positionen 2 bis 12

Pos.2:**Position 2: UNP 120****Materialkennwerte :**

Material : S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_{\text{w}} := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\varepsilon = 1,0$$

GeometrieKennwerte :

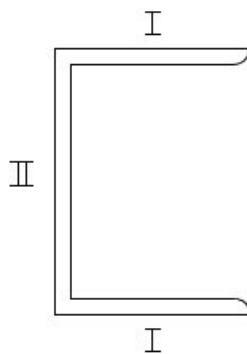
$$b := 55\text{mm}$$

$$h_1 := 82\text{mm}$$

$$r_1 := 9\text{mm}$$

$$\underline{s}_{\text{w}} := 7\text{mm}$$

$$\underline{t}_{\text{w}} := 9\text{mm}$$

Querschnittzuordnung :**Querschnittsteil I:**

$$\underline{c}_{\text{w}} := 55\text{mm} - 9\text{mm}$$

$$c = 46\text{mm}$$

$$t = 9\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{46}{9}$$

$$\frac{c}{t} = 5.111$$

einseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

$$5.111 < 9 \longrightarrow \text{QK1}$$

Querschnittsteil II:

$$c := 82\text{mm}$$

$$t := 7\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{82}{7}$$

$$\frac{c}{t} = 11.714$$

beidseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$11.714 < 72 \longrightarrow \text{QK1}$$

maßgebende und somit ungünstigste Gesamtquerschnittsklasse: QK 1

Pos.3/4:**Position 3 und 4: HEA 140**Materialkennwerte :

Material : S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_{\text{rel}} := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\varepsilon = 1,0$$

GeometrieKennwerte :

$$b := 140\text{mm}$$

$$t_{\text{fl}} := 8.5\text{mm}$$

$$h_1 := 92\text{mm}$$

$$r := 12\text{mm}$$

$$s_{\text{fl}} := 5.5\text{mm}$$

Querschnittzuordnung :**Querschnittsteil: Flansch**

$$c_{\text{fl}} := \frac{140\text{mm} - 2 \cdot 12\text{mm} - 5.5\text{mm}}{2} \quad c = 55.25\text{mm}$$

$$t = 8.5\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{55.25}{8.5}$$

$$\frac{c}{t} = 6.5$$

einseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

$$6.5 < 9 \quad \longrightarrow \quad \text{QK1}$$

Querschnittsteil: Steg

$$\overset{\text{mm}}{c} := 92\text{mm}$$

$$\overset{\text{mm}}{t} := 5.5\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{92}{5.5}$$

$$\frac{c}{t} = 16.727$$

beidseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$16.727 < 72 \longrightarrow \text{QK1}$$

maßgebende und somit ungünstigste Gesamtquerschnittsklasse : QK 1

Pos.5:**Position 5: HEA 120**Materialkennwerte :

Material : S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\overset{\text{mm}}{\varepsilon} := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\varepsilon = 1,0$$

GeometrieKennwerte :

$$b := 120\text{mm}$$

$$\overset{\text{mm}}{t} := 8\text{mm}$$

$$h_1 := 74\text{mm}$$

$$r := 12\text{mm}$$

$$\overset{\text{mm}}{s} := 5\text{mm}$$

Querschnittzuordnung:**Querschnittsteil: Flansch**

$$c_{\text{fl}} := \frac{120\text{mm} - 2 \cdot 12\text{mm} - 5\text{mm}}{2} \quad c = 45.5 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{45.5}{8}$$

$$\frac{c}{t} = 5.688$$

einseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

$$5.688 < 9 \longrightarrow \text{QK1}$$

Querschnittsteil: Steg

$$c_{\text{st}} := 74\text{mm}$$

$$t_{\text{st}} := 5\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{74}{5}$$

$$\frac{c}{t} = 14.8$$

beidseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$14.8 < 72 \longrightarrow \text{QK1}$$

maßgebende und somit ungünstigste Gesamtquerschnittsklasse : QK 1

Pos.6:**Position 6: UNP 220**Materialkennwerte :

Material : S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_{yk} := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\varepsilon = 1,0$$

Geometriekennwerte :

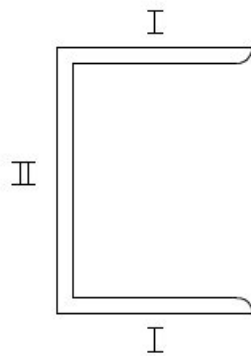
$$b := 80\text{mm}$$

$$h_1 := 166\text{mm}$$

$$r_1 := 12.5\text{mm}$$

$$\bar{s} := 9\text{mm}$$

$$\bar{t} := 12.5\text{mm}$$

Querschnittzuordnung :**Querschnittsteil I :**

$$\bar{c} := 80\text{mm} - 12.5\text{mm}$$

$$c = 67.5\text{mm}$$

$$t = 12.5\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{67.5}{12.5}$$

$$\frac{c}{t} = 5.4$$

einseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

$$5.4 < 9 \longrightarrow \text{QK1}$$

Querschnittsteil II :

$$c_w := 166\text{mm}$$

$$t_w := 9\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{166}{9}$$

$$\frac{c}{t} = 18.444$$

beidseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$18.444 < 72 \longrightarrow \text{QK1}$$

maßgebende und somit ungünstigste Gesamtquerschnittsklasse : QK 1

Pos.7:**Position 7: QR 60x5**Materialkennwerte :

Material :
S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\varepsilon = 1,0$$

Geometrie Kennwerte :

$$b := 60\text{mm}$$

$$t := 5\text{mm}$$

Querschnittzuordnung :

$$c := 60\text{mm} - 2 \cdot 5\text{mm} \quad c = 50\text{mm}$$

$$t = 5\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{50}{5}$$

$$\frac{c}{t} = 10$$

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$10 < 72 \longrightarrow \text{QK1}$$

Pos.8:**Position 8: RR 80x40x5**Materialkennwerte :

Material : S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_{\text{yk}} := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}}$$

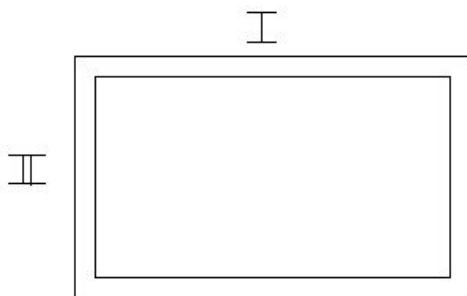
$$\varepsilon = 1,0$$

GeometrieKennwerte :

$$B := 80\text{mm}$$

$$t := 5\text{mm}$$

$$T := 40\text{mm}$$

Querschnittzuordnung :**Querschnittsteil I:**

$$c_{\text{yk}} := 80\text{mm} - 2 \cdot 5\text{mm} \quad c = 70\text{mm}$$

$$t = 5\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{70}{5}$$

$$\frac{c}{t} = 14$$

beidseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon \quad 14 < 72 \longrightarrow \text{QK1}$$

Querschnittsteil II:

$$c_w := 40\text{mm} - 2 \cdot 5\text{mm} \quad c = 30\text{mm}$$

$$t_w := 5\text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{30}{5}$$

$$\frac{c}{t} = 6$$

beidseitig gestützt, Druckbelastung

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$6 < 72 \longrightarrow \text{QK1}$$

maßgebende und somit ungünstigste Gesamtquerschnittsklasse : QK 1

Pos.10:**Position 10: Rd 18**Materialkennwerte :

Material : S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_w := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\varepsilon = 1,0$$

Geometriekennwerte :

$$d := 18\text{mm}$$

$$t_w := 18\text{mm}$$

Querschnittzuordnung :

$$\frac{d}{t} = \frac{18}{18}$$

$$\frac{d}{t} = 1$$

beidseitig gestützt, Belastung: Druck und Biegung

$$\frac{d}{t} < \varepsilon^2 \cdot 50$$

$$1 < 50 \longrightarrow \text{QK1}$$

Pos.11:**Position 11: Rd 20**Materialkennwerte :

Material : S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_{yk} := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\varepsilon = 1,0$$

GeometrieKennwerte :

$$d := 20\text{mm}$$

$$t_w := 20\text{mm}$$

Querschnittzuordnung :

$$\frac{d}{t} = \frac{20}{20}$$

$$\frac{d}{t} = 1$$

beidseitig gestützt, Belastung: Druck und Biegung

$$\frac{d}{t} < \varepsilon^2 \cdot 50$$

$$1 < 50 \longrightarrow \text{QK1}$$

Pos.12:**Position 12: Rd 24**Materialkennwerte :

Material : S235

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_w := \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\varepsilon = 1,0$$

Geometriekennwerte :

$$d := 24\text{mm}$$

$$t_w := 24\text{mm}$$

Querschnittzuordnung :

$$\frac{d}{t} = \frac{24}{24}$$

$$\frac{d}{t} = 1$$

beidseitig gestützt, Belastung: Druck und Biegung

$$\frac{d}{t} < \varepsilon^2 \cdot 50$$

$$1 < 50 \longrightarrow \text{QK1}$$

Anhang B

Querschnitts- und Stabilitätsnachweise der Positionen 2 bis 5

Nachweis Pos. 2

gewähltes Profil : UNP 120

Materialwerte : S235 nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 3.1

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G := 8.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Geometriewerte : maximale Länge : $l_{\max} := 1.2\text{m}$

Querschnittswerte : nach DIN EN 10 279

$$\begin{aligned} h &:= 120\text{mm} & r_1 &:= 9\text{mm} & I_T &:= 4.15\text{cm}^4 \\ h_1 &:= 82\text{mm} & A &:= 17\text{cm}^2 & I_W &:= 900\text{cm}^6 \\ b &:= 55\text{mm} & I_y &:= 364\text{cm}^4 & S_y &:= 36.3\text{cm}^3 \\ t &:= 9\text{mm} & W_y &:= 60.7\text{cm}^3 & W_{pl} &:= 2 \cdot S_y \\ s &:= 7\text{mm} & I_z &:= 43.2\text{cm}^4 & W_{pl} &= 2 \cdot 36.3\text{cm}^3 \\ & & & & W_{pl} &= 72.6\text{cm}^3 \end{aligned}$$

Schneider 8.172
19. Auflage

$$A_v := A - 2 \cdot b \cdot t + (s + r_1) \cdot t \quad \text{nach DIN EN 1993-1-1 Kapitel 6.2.6}$$

Schneider 8.16
19. Auflage

$$A_v = 17\text{cm}^2 - 2 \cdot 55\text{mm} \cdot 9\text{mm} + (7\text{mm} + 9\text{mm}) \cdot 9\text{mm}$$

$$A_v = 8.54\text{cm}^2$$

Schnittgrößen :

$$V_{z,Ed} := 3.46\text{kN}$$

$$N_{Ed} := -56\text{kN}$$

$$M_{y,Ed} := 1\text{kNm}$$

aus den Berechnungen aus R-Stab
Lastgruppe LG20

Querschnittseinordnung :

Querschnittsklasse : QK1

Querschnittsnachweis :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

nach DIN EN 1993-1-1 NA

vollplastische Schnittgrößen :

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{pl.Rd} = \frac{8.54 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} \quad V_{pl.Rd} = 115.87 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{pl.Rd} = \frac{17 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \quad N_{pl.Rd} = 399.5 \text{ kN}$$

$$M_{pl.Rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{pl.Rd} = \frac{72.6 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \quad M_{pl.Rd} = 17.06 \text{ m kN}$$

Querkraftnachweis :

bei : $\frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} \leq 0,5$

keine Abminderung

bei : $\frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} > 0,5$

Abminderung über die Streckgrenze

$$\rho := \left(\frac{2 \cdot V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} - 1 \right)^2 \quad \rho = \left(\frac{2 \cdot 3460 \text{ N}}{115.87 \text{ kN}} - 1 \right)^2$$

$$\rho = 0.88$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = (1 - 0.88) 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = 2.72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} = \frac{3.46 \text{ kN}}{115.87 \text{ kN}}$$

$$\frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} = 0.03$$

$$0.03 \leq 0,5$$

keine Abminderung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit

$$\longrightarrow f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegung :

Einfluss der Normalkraft :

$$N_{Ed} \leq 0.25 \cdot N_{pl.Rd} \quad \text{und} \quad N_{Ed} \leq \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = -56 \text{ kN}$$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 0.25 \cdot (399.5 \text{ kN}) \quad \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 7 \text{ mm} \cdot 82 \text{ mm} \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0}$$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 99.88 \text{ kN} \quad \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 67.45 \text{ kN}$$

$$56 \text{ kN} < 99.88 \text{ kN} \quad 56 \text{ kN} < 67.45 \text{ kN}$$

Bedingung erfüllt! es folgt Nachweis nach a

Nachweis a :

$$M_{N.Rd} := M_{pl.Rd}$$

$$M_{N.Rd} = 17.06 \text{ kNm}$$

Nachweis b :

$$a := \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A}$$

$$a = \frac{17 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 9 \text{ mm}}{17 \text{ cm}^2} \quad a = 0.42$$

$$0.42 \leq 0.5$$

$$n := \frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} \quad n = \frac{-56 \text{ kN}}{399.5 \text{ kN}} \quad n = -0.14$$

$$M_{N.Rd} := \frac{M_{pl.Rd} \cdot (1 - n)}{1 - 0.5 \cdot a} \quad M_{N.Rd} = \frac{17.06 \text{ kNm} \cdot (1 - -0.14)}{1 - 0.5 \cdot 0.42}$$

$$M_{N.Rd} = 24.59 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow M_{N.Rd} := 17.06 \text{ kNm}$$

Querschnittsnachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{M_{y.Ed}}{M_{N.Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{M_{y.Ed}}{M_{N.Rd}} = \frac{1 \text{ kNm}}{24.59 \text{ kNm}}$$

$$\frac{M_{y.Ed}}{M_{N.Rd}} = 0.06$$

Nachweis = "erfüllt"

Stabilitätsnachweise :

$\gamma_{M1} := 1.1$ nach DIN EN 1993-1-1 NA

vollplastische Schnittgrößen :

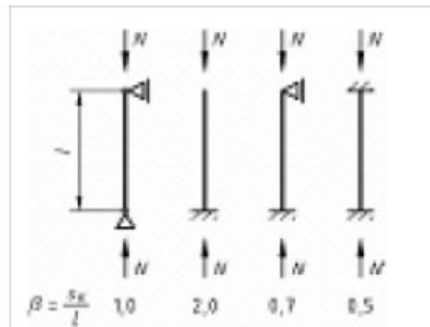
$$V_{pl,Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{pl,Rd} = \frac{8.54 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.1} \quad V_{pl,Rd} = 105.33 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{pl,Rd} = \frac{17 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.1} \quad N_{pl,Rd} = 363.18 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad M_{pl,Rd} = \frac{72.6 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.1} \quad M_{pl,Rd} = 15.51 \text{ kNm}$$

Berechnung der Knicklänge : nach DIN 18800-2 Bild 9 S. 21

$\beta := 1.0$



Quelle : DIN 18800-2 Bild 9

Stablänge : $l_s := 1.2 \text{ m}$

$$L_{cr} := \beta \cdot l_s \quad L_{cr} = 1.0 \cdot 1.2 \text{ m}$$

$$L_{cr} = 1.2 \text{ m}$$

1. Biegedrillknicknachweis : Ausweichen um die y-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :

Knicksprungslinie : $KSL := c$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

$$\lambda_y := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}}$$

mit : $N_{cr,y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot \frac{N}{mm^2} \cdot 364 cm^4}{1.2m^2}$$

$$N_{cr,y} = 5239.12 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{17 cm^2 \cdot 235 \frac{N}{mm^2}}{5239.12 \text{ kN}}}$$

$$\lambda_y = 0.28$$

Imperfektionsbeiwerte :

KSL a₀: $\alpha = 0,13$
 KSL a: $\alpha = 0,21$
 KSL b: $\alpha = 0,34$
 KSL c: $\alpha = 0,49$
 KSL d: $\alpha = 0,76$
 nach DIN EN 1993-1-1

$$\alpha := 0.49$$

Ermittlung des Abminderungsfaktors : χ

für : $\bar{\lambda} \leq 0,2$ $\chi = 1,0$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

mit : $\phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right]$

$$\phi = 0.5 \cdot \left[1 + 0.49(0.28 - 0.2) + 0.28^2 \right]$$

$$\phi = 0.56$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.56 + \sqrt{0.56^2 - 0.28^2}}$$

$$\chi_y = 0.96$$

Interaktionsbeiwert : k_{yy}

mit $C_{my} := 0.95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$N_{Rk} := f_y \cdot A \quad N_{Rk} = 235 \cdot \frac{N}{mm^2} \cdot 17 cm^2 \quad N_{Rk} = 399.5 kN$$

$$C_{my} \left[1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} := C_{my} \left[1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \quad k_{yy} = 0.95 \left[1 + (0.28 - 0.2) \cdot \frac{-56 kN}{\frac{0.96 \cdot 399.5 kN}{1.1}} \right] \quad k_{yy} = 0.94$$

$$k_{yy} := C_{my} \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \quad k_{yy} = 0.95 \left[1 + \frac{0.8(-56 kN)}{\frac{0.96 \cdot 399.5 kN}{1.1}} \right] \quad k_{yy} = 0.83$$

$$\rightarrow k_{yy} := 0.96$$

Ideales Biegedrillknickmoment :

Momentenbeiwerte C_1 und C_2 :

Momenten- verlauf	Beiwerte C_1	C_2	Momentenform	Beiwerte C_1	C_2
	1,13	0,46		1,00	$C_2 = 0$
	1,36	0,55		1,32	
	1,04	0,43		1,85	
	2,57	1,55		2,59	
	1,68	1,64		2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$C_1 := 1.13 \quad C_2 := 0.46 \quad z_g := \frac{h}{2}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 43.2 \text{cm}^4}{1.2^2 \text{m}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{900 \text{cm}^6}{43.2 \text{cm}^4} + \frac{1.2^2 \text{m}^2 \cdot 8.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 4.15 \text{cm}^4}{\pi^2 \cdot 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 43.2 \text{cm}^4} + \left(0.46 \cdot \frac{12 \text{cm}}{2} \right)^2} - 0.46 \cdot \frac{12 \text{mm}}{2} \right]$$

$$M_{cr} = 18.12 \text{kNm}$$

Bezogener Schlankheitsgrad :

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{72.6 \text{cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{18.12 \text{kNm}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0.97$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BDK) : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

KSL a:	$\alpha_{LT} = 0,21$
KSL b:	$\alpha_{LT} = 0,34$
KSL c:	$\alpha_{LT} = 0,49$
KSL d:	$\alpha_{LT} = 0,76$
nach DIN EN 1993-1-1	

KSL : c

$$\alpha_{LT} := 0.49$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} := 0.4 \quad (\text{Höchstwert})$$

$$\beta_w := 0.75 \quad (\text{Mittelwert})$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta_w \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + 0.49(0.97 - 0.4) + 0.75 \cdot 0.97^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.99$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta_w \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0.99 + \sqrt{0.99^2 - 0.75 \cdot 0.97^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.66$$

jedoch : $\chi_{LT} \leq 1,0$ $0,66 \leq 1,0$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \quad \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,97^2} \quad \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = 1,06$$

$$0,66 \leq 1,06$$

Nachweis := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}} \leq 1,0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}} = \frac{-56 \text{ kN}}{0,96 \cdot 363,18 \text{ kN}} + 0,96 \cdot \frac{1 \text{ kNm}}{0,66 \cdot 15,51 \text{ kNm}}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}} = 0,25$$

Nachweis = "erfüllt"

1. Biegedrillknicknachweis :

Ausweichen um die z-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :

Knickspannungslinie : KSL := c nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

$$\bar{\lambda}_z := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}}$$

mit : $N_{cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 43,2 \text{ cm}^4}{1,2 \text{ m}}$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{17 \text{ cm}^2 \cdot 235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{621,79 \text{ kN}}}$$

$$N_{cr,z} = 621,79 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,8$$

Imperfektionsbeiwerte :

$$\text{KSL } a_0: \alpha = 0,13$$

$$\text{KSL } a: \alpha = 0,21$$

$$\text{KSL } b: \alpha = 0,34$$

$$\text{KSL } c: \alpha = 0,49$$

$$\text{KSL } d: \alpha = 0,76$$

nach DIN EN 1993-1-1

$$\alpha_{\text{eff}} = 0.49$$

Ermittlung des Abminderungsfaktors : χ

$$\text{für : } \bar{\lambda} \leq 0,2 \quad \chi = 1,0$$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\text{mit : } \phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_Z - 0.2) + \bar{\lambda}_Z^2 \right]$$

$$\phi = 0.5 \cdot \left[1 + 0.49(0.8 - 0.2) + 0.8^2 \right]$$

$$\phi = 0.97$$

$$\chi_Z := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_Z^2}}$$

$$\chi_Z = \frac{1}{0.97 + \sqrt{0.97^2 - 0.8^2}}$$

$$\chi_Z = 0.66$$

Interaktionsbeiwert : k_{zy} nach DIN EN 1993-1-1 Anhang Bmit $C_{mLT} := 0.95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$N_{Rk} := f_y \cdot A \quad N_{Rk} = 235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 17 \text{ cm}^2 \quad N_{Rk} = 399.5 \text{ kN}$$

$$\left(1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_Z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_Z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \geq \left(1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_Z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0.1 \cdot 0.8}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{-56 \text{ kN}}{\frac{0.66 \cdot 399.5 \text{ kN}}{1.1}} \right)$$

$$k_{zy} = 1.03$$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0.1}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{-56 \text{ kN}}{\frac{0.66 \cdot 399.5 \text{ kN}}{1.1}}$$

$$k_{zy} = 1.03$$

$$\longrightarrow k_{zy} = 1.03$$

Ideales Biegedrillknickmoment :

Momentenbeiwerte C1 und C2 :

Momenten- verlauf	Beiwerte		Momentenform	Beiwerte	
	C ₁	C ₂		C ₁	C ₂
	1,13	0,46	M	1,00	C ₁ C ₂ = 0
	1,36	0,55	M	1,32	
	1,04	0,43	M	1,85	
	2,57	1,55	M	2,59	
	1,68	1,64	M	2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$C_1 := 1.13$$

$$C_2 := 0.46$$

$$Z_{\text{mgv}} := \frac{h}{2}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 43.2 \text{cm}^4}{1.2^2 \text{m}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{900 \text{cm}^6}{43.2 \text{cm}^4} + \frac{1.2^2 \text{m}^2 \cdot 8.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 4.15 \text{cm}^4}{\pi^2 \cdot 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 43.2 \text{cm}^4}} + \left(0.46 \cdot \frac{12 \text{cm}}{2} \right)^2 - 0.46 \cdot \frac{12 \text{mm}}{2} \right]$$

$$M_{cr} = 18.12 \text{ kNm}$$

Bezogener Schlankheitsgrad : $\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{72.6 \text{cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{18.12 \text{ kNm}}}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0.97$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BDK) : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

KSL : c

$$\alpha_{LT} = 0.49$$

KSL a: $\alpha_{LT} = 0,21$
KSL b: $\alpha_{LT} = 0,34$
KSL c: $\alpha_{LT} = 0,49$
KSL d: $\alpha_{LT} = 0,76$
 nach DIN EN 1993-1-1

$$\lambda_{LT,0} := 0.4 \quad (\text{Höchstwert})$$

$$\beta := 0.75 \quad (\text{Mittelwert})$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + 0.49(0.97 - 0.4) + 0.75 \cdot 0.97^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.99$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} \chi_{LT} = \frac{1}{0.99 + \sqrt{0.99^2 - 0.75 \cdot 0.97^2}} \quad \chi_{LT} = 0.66$$

$$\text{jedoch:} \quad \chi_{LT} \leq 1,0 \quad 0.66 \leq 1,0$$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{0.97^2} \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 1.06$$

$$0.66 \leq 1.06$$

$$\longrightarrow \chi_{LT} = 0.66$$

$$\text{Nachweis:} \quad \text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_Z \cdot N_{pl.Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_Z \cdot N_{pl.Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}} = \frac{-56 \text{ kN}}{0.66 \cdot 363.18 \text{ kN}} + 1.03 \cdot \frac{1 \text{ kNm}}{0.66 \cdot 15.51 \text{ kNm}}$$

$$\left| \frac{|N_{Ed}|}{\chi_Y \cdot N_{pl.Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}} \right| = 0.25$$

Nachweis = "erfüllt"

Nachweis Pos. 3/4 Teil 1

gewähltes Profil : HEA 140

Materialwerte :

S235

nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 3.1

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G := 8.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Geometriewerte : maximale Länge : $l_{\max} := 3.72\text{m}$

Querschnittswerte :

nach DIN EN 10 279

$$h := 133\text{mm}$$

$$A := 31.4\text{cm}^2$$

Schneider 8.172
19. Auflage

$$h_1 := 92\text{mm}$$

$$I_y := 1030\text{cm}^4$$

$$b := 140\text{mm}$$

$$I_z := 389\text{cm}^4$$

$$I_w := 15.06 \cdot 1000\text{cm}^6$$

Schneider 8.75
19. Auflage

$$s := 5.5\text{mm}$$

$$W_y := 155\text{cm}^3$$

$$S_y := 86.7\text{cm}^3$$

$$t := 8.5\text{mm}$$

$$W_z := 55.6\text{cm}^3$$

$$W_{pl,y} := 173.5\text{cm}^3$$

$$r := 12\text{mm}$$

$$A_v := A - 2 \cdot b \cdot t + (s + 2r) \cdot t \quad \text{nach DIN EN 1993-1-1 Kapitel 6.2.6}$$

Schneider 8.16
19. Auflage

$$A_v = 31.4\text{cm}^2 - 2 \cdot 140\text{mm} \cdot 8.5\text{mm} + (5.5\text{mm} + 2 \cdot 12\text{mm}) \cdot 8.5\text{mm}$$

$$A_v = 10.11\text{cm}^2$$

Schnittgrößen :

$$V_{z,Ed} := 25\text{kN}$$

aus den Berechnungen aus R-Stab

$$N_{Ed} := 28\text{kN}$$

Lastgruppe LG2

$$M_{y,Ed} := 28\text{kNm}$$

Querschnittseinordnung :

Querschnittsklasse : QK1

Querschnittsnachweis :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

nach DIN EN 1993-1-1 NA

vollplastische Schnittgrößen :

$$V_{pl,Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{pl,Rd} = \frac{10.11 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} \quad V_{pl,Rd} = 137.14 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{pl,Rd} = \frac{31.4 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \quad N_{pl,Rd} = 737.9 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} := \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{pl,Rd} = \frac{173.5 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \quad M_{pl,Rd} = 40.77 \text{ kNm}$$

Querkraftnachweis :

bei : $\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5$

keine Abminderung

bei : $\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} > 0,5$

Abminderung über die Streckgrenze

$$\rho := \left(\frac{2 \cdot V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad \rho = \left(2 \cdot \frac{25 \text{ kN}}{137.14 \text{ kN}} - 1 \right)^2$$

$$\rho = 0.4$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = 14.01 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (1 - \rho) \cdot f_y = 14.01 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{25 \text{ kN}}{137.14 \text{ kN}} \quad \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = 0.18$$

$$0.18 \leq 0,5$$

keine Abminderung des Bemessungswertes der Momententragsfähigkeit

$$\longrightarrow f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegung :

Einfluss der Normalkraft :

$$N_{Ed} \leq 0.25 \cdot N_{pl.Rd} \quad \text{und} \quad N_{Ed} \leq \frac{0.5 \cdot s \cdot (h - 2t) \cdot s \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 28 \text{ kN}$$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 0.25 \cdot 737.9 \text{ kN}$$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 184.47 \text{ kN}$$

$$28 \text{ kN} < 184.47 \text{ kN}$$

$$\frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 5.5 \text{ mm} \cdot 92 \frac{\text{mm}^2 235 \text{ N}}{\text{mm}^2}}{1.0}$$

$$\frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 59.45 \text{ kN}$$

$$28 \text{ kN} < 59.45 \text{ kN}$$

Bedingung erfüllt! es folgt Nachweis nach a

Nachweis a :

$$M_{N.Rd} := M_{pl.Rd}$$

$$M_{N.Rd} = 40.77 \text{ kNm}$$

Nachweis b :

$$a := \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} \quad a = \frac{31.4 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 140 \text{ mm} \cdot 8.5 \text{ mm}}{31.4 \text{ cm}^2}$$

$$a = 0.24$$

$$0.24 \leq 0.5$$

$$a = 0.24$$

$$n := \frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} \quad n = \frac{260 \text{ kN}}{737.9 \text{ kN}} \quad n = 0.04$$

$$M_{N.Rd} := \frac{M_{pl.Rd} \cdot (1 - n)}{1 - 0.5 \cdot a} \quad M_{N.Rd} = \frac{40.77 \text{ kNm} (1 - 0.35)}{1 - 0.5 \cdot 0.24}$$

$$M_{N.Rd} = 44.63 \text{ kNm}$$



$$M_{N.Rd} := 40.77 \text{ kNm}$$

Querschnittsnachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{28 \text{ kNm}}{40.77 \text{ kNm}} \quad \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = 0.69 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Stabilitätsnachweise :

$\gamma_{M1} := 1.1$ nach DIN EN 1993-1-1 NA

vollplastische Schnittgrößen :

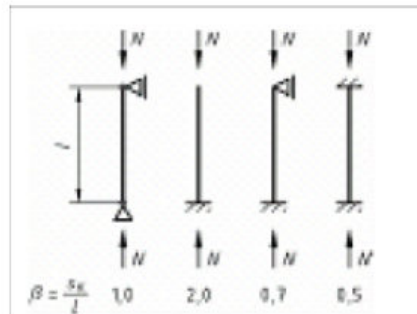
$$V_{pl,Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{pl,Rd} = \frac{10.11 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.1} \quad V_{pl,Rd} = 124.67 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{pl,Rd} = \frac{31.4 \text{ cm}^2}{1.1} \quad N_{pl,Rd} = 670.82 \text{ kN}$$

$$M_{pl,y,Rd} := \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad M_{pl,Rd} = \frac{173.5 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.1} \quad M_{pl,y,Rd} = 37.07 \text{ kNm}$$

Berechnung der Knicklänge : nach DIN 18800-2 Bild 9 S. 21

$$\beta := 1.0$$



Quelle : DIN 18800-2 Bild 9

Stablänge : $l_s := 3.72 \text{ m}$

$$L_{cr} := \beta \cdot l_s$$

$$L_{cr} = 1.0 \cdot 3.72 \text{ m}$$

$$L_{cr} = 3.72 \text{ m}$$

1. Biegedrillknicknachweis :

Ausweichen um die y-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :

Knickspannungslinie : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

$$\frac{h}{b} = \frac{133\text{mm}}{140\text{mm}} \quad \frac{h}{b} = 0.95 \quad 0.95 \leq 1.2$$

Schneider 8.25
19. Auflage

$$t = 8.5\text{ mm} \quad 8.5\text{ mm} \leq 100\text{mm}$$

$$\text{KSL} := b$$

$$\bar{\lambda}_y := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{\text{cr},y}}} \quad \text{mit :} \quad N_{\text{cr},y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{\text{cr}}^2} \quad N_{\text{cr},y} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 1030\text{cm}^4}{3.72^2 \text{m}^2}$$

$$N_{\text{cr},y} = 1542.66\text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{31.4\text{cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1846.71\text{kN}}}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0.69$$

Imperfektionsbeiwerte :

KSL a ₀ :	$\alpha = 0,13$
KSL a:	$\alpha = 0,21$
KSL b:	$\alpha = 0,34$
KSL c:	$\alpha = 0,49$
KSL d:	$\alpha = 0,76$
nach DIN EN 1993-1-1	

$$\alpha := 0.34$$

Ermittlung des Abminderungsfaktors : χ

$$\text{für :} \quad \bar{\lambda} \leq 0,2 \quad \chi = 1,0$$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\text{mit :} \quad \phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right]$$

$$\phi = 0.5 \left[1 + 0.34(0.69 - 0.2) + 0.69^2 \right] \quad \phi = 0.82$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}} \quad \chi_y = \frac{1}{0.82 + \sqrt{0.82^2 - 0.69^2}}$$

$$\chi_y = 0.79$$

Interaktionsbeiwert: k_{yy}

mit $C_{my} := 0.95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$N_{Rk} := f_y \cdot A \quad N_{Rk} = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 31.4 \text{ cm}^2 \quad N_{Rk} = 737.9 \text{ kN}$$

$$C_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right] \leq C_{my} \left(1 + 0.8 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} := C_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right] \quad k_{yy} = 0.95 \left[1 + (0.69 - 0.2) \cdot \frac{\frac{260 \cdot \text{kN}}{0.79 \cdot 737.9 \text{ kN}}}{1.1} \right]$$

$$k_{yy} = 0.97$$

$$k_{yy} := C_{my} \left(1 + 0.8 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right) \quad k_{yy} = 0.95 \left(1 + 0.8 \cdot \frac{\frac{260 \text{ kN}}{0.79 \cdot 737.9 \text{ kN}}}{1.1} \right)$$

$$k_{yy} = 0.99$$

$$\longrightarrow k_{yy} = 0.99$$

Ideales Biegedrillknickmoment :

Momentenbeiwerte C_1 und C_2 :

Momenten- verlauf	Beiwerte		Momentenform	Beiwerte	
	C_1	C_2		C_1	C_2
	1,13	0,46		1,00	$C_1 \cdot C_2$
	1,36	0,55		1,32	
	1,04	0,43		1,85	
	2,57	1,55		2,59	
	1,68	1,64		2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$C_1 := 1.13 \quad C_2 := 0.46 \quad z_g := \frac{h}{2}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}}{3.72^2 \cdot \text{m}^2} \right) \cdot \left[\frac{15060 \cdot \text{cm}^6}{389 \cdot \text{cm}^4} + \frac{3.72^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 81 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 8.13 \cdot \text{cm}^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 389 \cdot \text{cm}^4} + \left(\frac{0.46 \cdot 133 \cdot \text{mm}}{2} \right)^2 - 0.46 \cdot 133 \cdot \frac{\text{mm}}{2} \right]$$

$$M_{cr} = 25.56 \text{ kNm}$$

Bezogener Schlankheitsgrad :

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{173.5 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{25.56 \text{ kNm}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1.26$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BDK) : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

$$\text{KSL : b}$$

$$\alpha_{LT} := 0.34$$

$$\text{KSL a: } \alpha_{LT} = 0.21$$

$$\text{KSL b: } \alpha_{LT} = 0.34$$

$$\text{KSL c: } \alpha_{LT} = 0.49$$

$$\text{KSL d: } \alpha_{LT} = 0.76$$

nach DIN EN 1993-1-1

$$\lambda_{LT,0} := 0.4 \quad (\text{Höchstwert})$$

$$\bar{\alpha}_{LT} := 0.75 \quad (\text{Mittelwert})$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \bar{\beta} \cdot \lambda_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + 0.34(1.26 - 0.4) + 0.75 \cdot 1.26^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 1.24$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} \quad \chi_{LT} = \frac{1}{1.24 + \sqrt{1.24^2 - 0.75 \cdot 1.26^2}} \quad \chi_{LT} = 0.54$$

$$\text{jedoch :} \quad \chi_{LT} \leq 1,0 \quad 0.54 \leq 1,0$$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{1.26^2} \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 0.63$$

$$0.54 \leq 0.63$$

$$\text{Nachweis :} \quad \text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = \frac{280 \text{ kN}}{0.79 \cdot 670.82 \text{ kN}} + 0.99 \cdot \frac{28 \text{ kNm}}{0.54 \cdot 37.07 \text{ kNm}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = 1.43 \quad \text{Nachweis} = \text{"nicht erfüllt"}$$

1. Biegedrillknicknachweis :

Ausweichen um die z-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :

nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

Schneider 8.25
19. AuflageKnickspannungslinie :

$$\frac{h}{b} = \frac{133\text{mm}}{140\text{mm}} = 0.95 \quad 0.95 \leq 1,2$$

$$t = 8.5\text{mm} \quad t \leq 100\text{mm}$$

$$\underline{\text{KSL}} := c$$

$$\bar{\lambda}_z := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}}$$

mit :

$$N_{cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 389\text{cm}^4}{3.72^2 \text{m}^2}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{31.4\text{cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{582.62 \text{ kN}}}$$

$$N_{cr,z} = 582.62 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = 1.13$$

Imperfektionsbeiwerte :

KSL a ₀ :	$\alpha = 0,13$
KSL a:	$\alpha = 0,21$
KSL b:	$\alpha = 0,34$
KSL c:	$\alpha = 0,49$
KSL d:	$\alpha = 0,76$
nach DIN EN 1993-1-1	

$$\underline{\alpha} := 0.49$$

Ermittlung des Abminderungsfaktors : χ

$$\text{für :} \quad \bar{\lambda} \leq 0,2 \quad \chi = 1,0$$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

mit : $\phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right]$

$$\phi = 0.5 \left[1 + 0.49(1.13 - 0.2) + 1.13^2 \right] \quad \phi = 1.36$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_z^2}} \quad \chi_z = \frac{1}{1.36 + \sqrt{1.36^2 - 1.13^2}}$$

$$\chi_z = 0.47$$

Interaktionsbeiwert : k_{zy} nach DIN EN 1993-1-1 Anhang B

mit $C_{mLT} := 0.95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$N_{Rk} := f_y \cdot A \quad N_{Rk} = 235 \frac{N}{mm^2} \cdot 31.4 cm^2 \quad N_{Rk} = 737.9 kN$$

$$\left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \geq \left(1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \quad k_{zy} = \left(1 - \frac{0.1 \cdot 1.13}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{280 kN}{\frac{0.47 \cdot 737.9 kN}{1.1}} \right)$$

$$k_{zy} = 0.99$$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \quad k_{zy} = \left(1 - \frac{0.1}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{260 kN}{\frac{0.52 \cdot 737.9 kN}{1.1}} \right)$$

$$k_{zy} = 0.99$$

$$\longrightarrow k_{zy} = 0.99$$

Ideales Biegedrillknickmoment :

Momentenbeiwerte C_1 und C_2 :

Momentenverlauf	Beiwerte		Momentenform	Beiwerte	
	C_1	C_2		C_1	C_2
	1,13	0,46		1,00	$C_1 C_2 = 0$
	1,36	0,55		1,32	
	1,04	0,43		1,85	
	2,57	1,55		2,59	
	1,68	1,64		2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$C_1 := 1.13 \quad C_2 := 0.46 \quad z_g := \frac{h}{2}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}}{3.72^2 \cdot \text{m}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{15060 \cdot \text{cm}^6}{389 \cdot \text{cm}^4} + \frac{3.72^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 81 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 8.13 \cdot \text{cm}^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 389 \text{cm}^4} + \left(0.46 \cdot \frac{133 \text{mm}}{2} \right)^2} - 0.46 \cdot \left(\frac{133}{2} \text{mm} \right) \right]$$

$$M_{cr} = 25.56 \text{ kNm}$$

Bezogener Schlankheitsgrad :

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{173.5 \text{cm}^3 \cdot 235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{25.56 \text{ kNm}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1.26$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BDK) : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

KSL : c

$$\alpha_{LT} := 0.49$$

$$\text{KSL a: } \alpha_{LT} = 0.21$$

$$\text{KSL b: } \alpha_{LT} = 0.34$$

$$\text{KSL c: } \alpha_{LT} = 0.49$$

$$\text{KSL d: } \alpha_{LT} = 0.76$$

nach DIN EN 1993-1-1

$$\bar{\lambda}_{LT,0} := 0.4 \quad (\text{Höchstwert})$$

$$\beta := 0.75 \quad (\text{Mittelwert})$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + 0.49(1.26 - 0.4) + 0.75 \cdot 1.26^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 1.31$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} \quad \chi_{LT} = 0.49$$

$$\text{jedoch :} \quad \chi_{LT} \leq 1,0 \quad 0.49 \leq 1,0$$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 0.63$$

$$0.49 \leq 0.63$$

$$\longrightarrow \chi_{LT} = 0.49$$

$$\text{Nachweis :} \quad \text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_Z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_Z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = \frac{280 \text{ kN}}{0.47 \cdot 670.82 \text{ kN}} + 0.99 \cdot \frac{28 \text{ kNm}}{0.49 \cdot 37.07 \text{ kNm}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_Z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = 1.6 \quad \text{Nachweis = "nicht erfüllt"}$$

Nachweis Pos. 3/4 Teil 2

gewähltes Profil : HEA 140

Materialwerte : S235

nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 3.1

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G := 8.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Geometriewerte : maximale Länge : $l_{\max} := 3.4\text{m}$

Querschnittswerte : nach DIN EN 10 279

$$h := 133\text{mm}$$

$$r := 12\text{mm}$$

$$W_z := 55.6\text{cm}^3$$

Schneider 8.172
19. Auflage

$$h_1 := 92\text{mm}$$

$$A := 31.4\text{cm}^2$$

$$I_T := 8.13\text{cm}^4$$

$$b := 140\text{mm}$$

$$I_y := 1030\text{cm}^4$$

$$I_w := 15.06 \cdot 1000\text{cm}^6$$

Schneider 8.75
19. Auflage

$$s := 5.5\text{mm}$$

$$I_z := 389\text{cm}^4$$

$$S_y := 86.7\text{cm}^3$$

$$t := 8.5\text{mm}$$

$$W_y := 155\text{cm}^3$$

$$W_{pl,y} := 173.5\text{cm}^3$$

$$A_V := A - 2 \cdot b \cdot t + (s + 2r) \cdot t \quad \text{nach DIN EN 1993-1-1 Kapitel 6.2.6}$$

Schneider 8.16
19. Auflage

$$A_V = 31.4\text{cm}^2 - 2 \cdot 140\text{mm} \cdot 8.5\text{mm} + (5.5\text{mm} + 2 \cdot 12\text{mm}) \cdot 8.5\text{mm}$$

$$A_V = 10.11\text{cm}^2$$

Schnittgrößen :

$$V_{z,Ed} := 25\text{kN}$$

$$N_{Ed} := 260\text{kN}$$

$$M_{y,Ed} := 4\text{kNm}$$

aus den Berechnungen aus R-Stab

Lastgruppe LG8

Querschnittseinordnung : Querschnittsklasse : QK1

Querschnittsnachweis :

$\gamma_{M0} := 1.0$

nach DIN EN 1993-1-1 NA

vollplastische Schnittgrößen :

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{pl.Rd} = \frac{10.11 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} \quad V_{pl.Rd} = 137.14 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{pl.Rd} = \frac{31.4 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \quad N_{pl.Rd} = 737.9 \text{ kN}$$

$$M_{pl.Rd} := \frac{W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{pl.Rd} = \frac{173.5 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \quad M_{pl.Rd} = 40.77 \text{ kNm}$$

Querkraftnachweis :

$$\text{bei : } \frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} \leq 0,5$$

keine Abminderung

$$\text{bei : } \frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} > 0,5$$

Abminderung über die Streckgrenze

$$\rho := \left(\frac{2 \cdot V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} - 1 \right)^2 \quad \rho = \left(2 \cdot \frac{25 \text{ kN}}{137.14 \text{ kN}} - 1 \right)^2$$

$$\rho = 0.4$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = (1 - 0.4) 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = 14.01 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} = \frac{25 \text{ kN}}{137.14 \text{ kN}} \quad \frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} = 0.18$$

$$0.18 \leq 0,5$$

keine Abminderung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit

$$\longrightarrow f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegung :

Einfluss der Normalkraft :

$$N_{Ed} \leq 0.25 \cdot N_{pl.Rd} \quad \text{und} \quad N_{Ed} \leq \frac{0.5 \cdot s \cdot (h - 2t) \cdot s \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 260 \text{ kN}$$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 0.25 \cdot 737.9 \text{ kN} \quad \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 5.5 \text{ mm} \cdot 92 \text{ mm} \cdot \frac{235 \text{ N}}{\text{mm}^2}}{1.0}$$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 184.47 \text{ kN} \quad \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 59.45 \text{ kN}$$

$$260 \text{ kN} < 184.47 \text{ kN}$$

$$260 \text{ kN} < 59.45 \text{ kN}$$

Bedingung nicht erfüllt!

es folgt Nachweis nach b

Nachweis a :

$$M_{N.Rd} := M_{pl.Rd}$$

$$M_{N.Rd} = 40.77 \text{ kNm}$$

Nachweis b :

$$a := \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A}$$

$$a = \frac{31.4 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 140 \text{ mm} \cdot 8.5 \text{ mm}}{31.4 \text{ cm}^2}$$

$$a = 0.24$$

$$0.24 \leq 0.5$$

$$a = 0.24$$

$$n := \frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} \quad n = \frac{260 \text{ kN}}{737.9 \text{ kN}} \quad n = 0.35$$

$$M_{N.Rd} := \frac{M_{pl.Rd} \cdot (1 - n)}{1 - 0.5 \cdot a} \quad M_{N.Rd} = \frac{40.77 \text{ kNm} \cdot (1 - 0.35)}{1 - 0.5 \cdot 0.24}$$

$$M_{N.Rd} = 30.04 \text{ kNm}$$

$$\longrightarrow M_{N.Rd} := 30.04 \text{ kNm}$$

Querschnittsnachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{M_{y.Ed}}{M_{N.Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{M_{y.Ed}}{M_{N.Rd}} = \frac{4 \text{ kNm}}{30.04 \text{ kNm}}$$

$$\frac{M_{y.Ed}}{M_{N.Rd}} = 0.13 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Stabilitätsnachweise :

$$\gamma_{M1} := 1.1 \quad \text{nach DIN EN 1993-1-1 NA}$$

vollplastische Schnittgrößen :

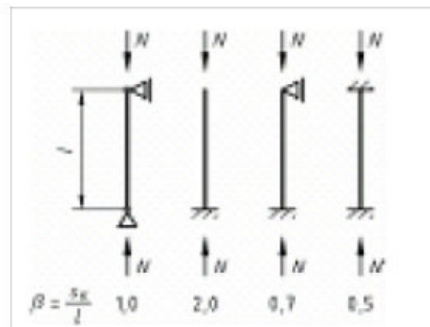
$$V_{pl.Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{pl.Rd} = \frac{10.11 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.1} \quad V_{pl.Rd} = 124.67 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{pl.Rd} = \frac{31.4 \text{ cm}^2}{1.1} \quad N_{pl.Rd} = 670.82 \text{ kN}$$

$$M_{pl.y.Rd} := \frac{W_{pl.y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad M_{pl.Rd} = \frac{173.5 \text{ cm}^3 \cdot 135 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.1} \quad M_{pl.y.Rd} = 37.07 \text{ kNm}$$

Berechnung der Knicklänge : nach DIN 18800-2 Bild 9 S. 21

$$\beta := 1.0$$



Quelle : DIN 18800-2 Bild 9

Stablänge : $l_s := 3.4 \text{ m}$

$$L_{cr} := \beta \cdot l_s \quad L_{cr} = 1.0 \cdot 3.4 \text{ m}$$

$$L_{cr} = 3.4 \text{ m}$$

1. Biegedrillknicknachweis :

Ausweichen um die y-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :Knickspannungslinie :

nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

$$\frac{h}{b} = \frac{133\text{mm}}{140\text{mm}}$$

$$\frac{h}{b} = 0.95$$

$$0.95 \leq 1.2$$

Schneider 8.25
19. Auflage

$$t = 8.5\text{mm}$$

$$8.5\text{mm} \leq 100\text{mm}$$

$$\text{KSL} := b$$

$$\bar{\lambda}_y := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{\text{cr},y}}} \quad \text{mit :} \quad N_{\text{cr},y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{\text{cr}}^2} \quad N_{\text{cr},y} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 1030\text{cm}^4}{3.4^2\text{m}^2}$$

$$N_{\text{cr},y} = 1846.71\text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{31.4\text{cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1846.71\text{kN}}}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0.63$$

Imperfektionsbeiwerte :

$$\alpha := 0.34$$

$$\text{KSL } a_0: \quad \alpha = 0,13$$

$$\text{KSL } a: \quad \alpha = 0,21$$

$$\text{KSL } b: \quad \alpha = 0,34$$

$$\text{KSL } c: \quad \alpha = 0,49$$

$$\text{KSL } d: \quad \alpha = 0,76$$

nach DIN EN 1993-1-1

Ermittlung des Abminderungsfaktors : χ

$$\text{für :} \quad \bar{\lambda} \leq 0,2 \quad \chi = 1,0$$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\text{mit :} \quad \phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right]$$

$$\phi = 0.5 \left[1 + 0.34(0.63 - 0.2) + 0.63^2 \right] \quad \phi = 0.77$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}} \quad \chi_y = \frac{1}{0.77 + \sqrt{0.77^2 - 0.63^2}}$$

$$\chi_y = 0.82$$

Interaktionsbeiwert : k_{yy}

mit $C_{my} := 0.95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$N_{Rk} := f_y \cdot A \quad N_{Rk} = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 31.4 \text{cm}^2 \quad N_{Rk} = 737.9 \text{kN}$$

$$C_{my} \left[1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} := C_{my} \left[1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \quad k_{yy} = 0.95 \left[1 + (0.63 - 0.2) \cdot 260 \frac{\text{kN}}{\frac{0.82 \cdot 737.9 \text{kN}}{1.1}} \right]$$

$$k_{yy} = 1.14$$

$$k_{yy} := C_{my} \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0.95 \left(1 + 0.8 \cdot \frac{260 \text{kN}}{\frac{0.82 \cdot 737.9 \text{kN}}{1.1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1.31$$

$$k_{yy} = 1.31$$

Ideales Biegedrillknickmoment :

Momentenbeiwerte C_1 und C_2 :

Momenten- verlauf	Beiwerte C_1	C_2	Momentenform	Beiwerte C_1	C_2
	1,13	0,46		1,00	$C_1 C_2 = 0$
	1,36	0,55		1,32	
	1,04	0,43		1,85	
	2,57	1,55		2,59	
	1,68	1,64		2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$C_1 := 1.13 \quad C_2 := 0.46 \quad z_g := \frac{h}{2} \quad z_g = \frac{133\text{mm}}{2}$$

$$z_g = 66.5\text{mm}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 389\text{cm}^4}{3.4^2 \cdot \text{m}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{15060 \cdot \text{cm}^6}{389 \cdot \text{cm}^4} + \frac{3.4^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 81 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 8.13 \cdot \text{cm}^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 389\text{cm}^4}} + (0.46 \cdot 66.5\text{mm})^2 - (0.46 \cdot 66.5\text{mm}) \right]$$

$$M_{cr} = 30.59\text{kNm}$$

Bezogener Schlankheitsgrad :

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{173.5\text{cm}^3 \cdot 235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{30.59\text{kNm}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1.15$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BDK) : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

KSL : b

$\alpha_{LT} := 0.34$

KSL a: $\alpha_{LT} = 0,21$

KSL b: $\alpha_{LT} = 0,34$

KSL c: $\alpha_{LT} = 0,49$

KSL d: $\alpha_{LT} = 0,76$

nach DIN EN 1993-1-1

$\bar{\lambda}_{LT,0} := 0.4$ (Höchstwert)

$\bar{\beta} := 0.75$ (Mittelwert)

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \bar{\beta} \cdot \lambda_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot [1 + 0.34(1.15 - 0.4) + 0.75 \cdot 1.15^2]$$

$$\phi_{LT} = 1.13$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\beta} \cdot \lambda_{LT}^2}} \quad \chi_{LT} = \frac{1}{1.13 + \sqrt{1.13^2 - 0.75 \cdot 1.15^2}} \quad \chi_{LT} = 0.61$$

$$\text{jedoch : } \chi_{LT} \leq 1,0 \quad 0.61 \leq 1,0$$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \quad \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1.15^2} \quad \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = 0.75$$

$$0.61 \leq 0.75$$

Nachweis : Nachweis :=
$$\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = \frac{260 \text{ kN}}{0.82 \cdot 670.82 \text{ kN}} + 1.31 \cdot \frac{4 \text{ kNm}}{1.15 \cdot 37.07 \text{ kNm}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = 0.71 \quad \text{Nachweis = "erfüllt"}$$

1. Biegedrillknicknachweis :

Ausweichen um die z-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :

nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

Knickspannungslinie :

Schneider 8.25
19. Auflage

$$\frac{h}{b} = \frac{133 \text{ mm}}{140 \text{ mm}} = 0.95 \quad 0.95 \leq 1,2$$

$$\underline{t} = 8.5 \text{ mm} \quad t \leq 100 \text{ mm}$$

$$\underline{KSL} := c$$

$$\bar{\lambda}_z := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}}$$

mit :
$$N_{cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 389 \text{ cm}^4}{3.4^2 \text{ m}^2}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{31.4 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{697.45 \text{ kN}}}$$

$$N_{cr,z} = 697.45 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = 1.03$$

Imperfektionsbeiwerte :

$$\alpha_w := 0.49$$

KSL a₀: $\alpha = 0,13$
 KSL a: $\alpha = 0,21$
 KSL b: $\alpha = 0,34$
 KSL c: $\alpha = 0,49$
 KSL d: $\alpha = 0,76$
 nach DIN EN 1993-1-1

Ermittlung des Abminderungsfaktors : χ

für : $\bar{\lambda} \leq 0,2 \quad \chi = 1,0$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

mit : $\phi := 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2]$

$$\phi = 0.5 [1 + 0.49(1.03 - 0.2) + 1.03^2]$$

$$\phi = 1.23$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_z^2}} \quad \chi_z = \frac{1}{1.23 + \sqrt{1.23^2 - 1.03^2}}$$

$$\chi_z = 0.52$$

Interaktionsbeiwert : k_{zy} nach DIN EN 1993-1-1 Anhang B

mit $C_{mLT} := 0.95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$N_{Rk} := f_y \cdot A \quad N_{Rk} = 235 \frac{N}{mm^2} \cdot 31.4 cm^2 \quad N_{Rk} = 737.9 kN$$

$$\left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right) \geq \left(1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zy} := \left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \quad k_{zy} = \left(1 - \frac{0.1 \cdot 1.03}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{260 \text{ kN}}{\frac{0.52 \cdot 737.9 \text{ kN}}{1.1}} \right)$$

$$k_{zy} = 0.89$$

$$k_{zy} := 1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \quad k_{zy} = \left(1 - \frac{0.1}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{260 \text{ kN}}{\frac{0.52 \cdot 737.9 \text{ kN}}{1.1}} \right)$$

$$k_{zy} = 0.89$$

$$\longrightarrow k_{zy} = 0.89$$

Ideales Biegedrillknickmoment :

Momentenbeiwerte C1 und C2 :

Momenten- verlauf	Beiwerte C ₁	C ₂	Momentenform	Beiwerte C ₁	C ₂
	1,13	0,46	M	1,00	
	1,36	0,55	M	1,32	
	1,04	0,43	M	1,85	
M	2,57	1,55	M	2,59	
M	1,68	1,64	M	2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$C_1 := 1.13 \quad C_2 := 0.46 \quad z_g := \frac{h}{2}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}}{3.4^2 \cdot \text{m}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{15060 \cdot \text{cm}^6}{389 \cdot \text{cm}^4} + \frac{3.4^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 81 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 8.13 \cdot \text{cm}^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 389 \text{cm}^4}} + \left(\frac{0.46 \cdot 133 \cdot \text{mm}}{2} \right)^2 - 0.46 \cdot \frac{133 \text{mm}}{2} \right]$$

$$M_{cr} = 30.59 \text{ kNm}$$

Bezogener Schlankheitsgrad : $\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$ $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{173.5 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{30.59 \text{ kNm}}}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1.15$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BDK) :

nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

KSL : c

$$\alpha_{LT} = 0.49$$

$$\text{KSL a: } \alpha_{LT} = 0.21$$

$$\text{KSL b: } \alpha_{LT} = 0.34$$

$$\text{KSL c: } \alpha_{LT} = 0.49$$

$$\text{KSL d: } \alpha_{LT} = 0.76$$

nach DIN EN 1993-1-1

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4 \quad (\text{Höchstwert})$$

$$\beta = 0.75 \quad (\text{Mittelwert})$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + 0.49 \cdot (1.15 - 0.4) + 0.75 \cdot 1.15^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 1.18$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} \quad \chi_{LT} = \frac{1}{1.18 + \sqrt{1.18^2 - 0.75 \cdot 1.15^2}} \quad \chi_{LT} = 0.55$$

jedoch : $\chi_{LT} \leq 1,0$ $0.55 \leq 1,0$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{1.15^2} \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 0.75$$

$$0.55 \leq 0.75$$

$$\longrightarrow \chi_{LT} = 0.55$$

Nachweis : $\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{pl.Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl.y.Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{pl.Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl.y.Rd}} = \frac{260 \text{ kN}}{0.52 \cdot 670.82 \text{ kN}} + 0.89 \cdot \frac{4 \text{ kNm}}{0.55 \cdot 37.07 \text{ kNm}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{pl.Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y.Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl.y.Rd}} = 0.92 \quad \text{Nachweis = "erfüllt"}$$

Nachweis Pos. 5

gewähltes Profil : HEA 120

Materialwerte : S235 nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 3.1

$$f_y := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G := 8.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Geometriewerte : maximale Länge : $l_{\max} := 3.97 \text{ m}$

Querschnittswerte : nach DIN EN 10 279

$$\begin{array}{lll} h := 114 \text{ mm} & r := 12 \text{ mm} & W_z := 38.5 \text{ cm}^3 \\ h_1 := 74 \text{ mm} & A := 25.3 \text{ cm}^2 & I_T := 5.99 \text{ cm}^4 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Schneider 8.75} \\ \text{19. Auflage} \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} b := 120 \text{ mm} & I_y := 606 \text{ cm}^4 & I_w := 6.472 \cdot 1000 \text{ cm}^6 \\ s := 5 \text{ mm} & I_z := 231 \text{ cm}^4 & S_y := 59.7 \text{ cm}^3 \\ t := 8 \text{ mm} & W_y := 106 \text{ cm}^3 & W_{pl.y} := 119.5 \text{ cm}^3 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Schneider 8.75} \\ \text{19. Auflage} \end{array}$$

$$A_v := A - 2 \cdot b \cdot t + (s + 2r) \cdot t \quad \text{nach DIN EN 1993-1-1 Kapitel 6.2.6} \quad \begin{array}{l} \text{Schneider 8.16} \\ \text{19. Auflage} \end{array}$$

$$A_v = 25.3 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 120 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} + (5 \text{ mm} + 2 \cdot 12 \text{ mm}) \cdot 8 \text{ mm}$$

$$A_v = 8.42 \text{ cm}^2$$

Schnittgrößen :

$$V_{z.Ed} := 7.6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} := 71 \text{ kN}$$

$$M_{y.Ed} := 8 \text{ kNm}$$

aus den Berechnungen aus R-Stab
Lastgruppe LG9

Querschnittseinordnung :

Querschnittsklasse : QK1

Querschnittsnachweis :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

nach DIN EN 1993-1-1 NA

vollplastische Schnittgrößen :

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{pl.Rd} = \frac{8.42 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} \quad V_{pl.Rd} = 114.24 \text{ kN}$$

$$N_{pl.Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{pl.Rd} = \frac{25.3 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \quad N_{pl.Rd} = 594.55 \text{ kN}$$

$$M_{pl.Rd} := \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{pl.Rd} = \frac{119.5 \text{ cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \quad M_{pl.Rd} = 28.08 \text{ kNm}$$

Querkraftnachweis :

$$\text{bei : } \frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} \leq 0,5$$

keine Abminderung

$$\text{bei : } \frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} > 0,5$$

Abminderung über die Streckgrenze

$$\rho := \left(\frac{2 \cdot V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} - 1 \right)^2 \quad \rho = \left(2 \cdot \frac{7.6 \text{ kN}}{114.24 \text{ kN}} - 1 \right)^2$$

$$\rho = 0.75$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = (1 - 0.75) 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$(1 - \rho) \cdot f_y = 5.84 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} = \frac{7.6 \text{ kN}}{114.24 \text{ kN}} \quad \frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.Rd}} = 0.07$$

$$0.07 \leq 0,5$$

keine Abminderung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit

$$\longrightarrow f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegung :

Einfluss der Normalkraft :

$$N_{Ed} \leq 0.25 \cdot N_{pl.Rd} \quad \text{und} \quad N_{Ed} \leq \frac{0.5 \cdot s \cdot (h - 2t) \cdot s \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 71 \text{ kN}$$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 0.25 \cdot 594.55 \text{ kN} \quad \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 74 \text{ mm} \cdot \frac{235 \text{ N}}{\text{mm}^2}}{1.0}$$

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 148.64 \text{ kN} \quad \frac{0.5 \cdot s \cdot h_1 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 43.48 \text{ kN}$$

$$71 \text{ kN} < 148.64 \text{ kN}$$

$$71 \text{ kN} > 43.48 \text{ kN}$$

es folgt Nachweis nach b

Nachweis a :

$$M_{N.Rd} := M_{pl.Rd}$$

$$M_{N.Rd} = 28.08 \text{ kNm}$$

Nachweis b :

$$a := \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} \quad a = \frac{25.3 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 120 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm}}{25.3 \text{ cm}^2} \quad a = 0.24$$

$$0.24 \leq 0.5$$

$$a = 0.24$$

$$n := \frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} \quad n = \frac{71 \text{ kN}}{594.55 \text{ kN}} \quad n = 0.12$$

$$\underline{\underline{M_{N.Rd}}} := \frac{M_{pl.Rd} \cdot (1 - n)}{1 - 0.5 \cdot a} \quad M_{N.Rd} = \frac{28.08 \text{ kNm} (1 - 0.12)}{1 - 0.5 \cdot 0.24}$$

$$M_{N.Rd} = 28.12 \text{ kNm}$$

$$\longrightarrow \underline{\underline{M_{N.Rd}}} := 28.12 \text{ kNm}$$

Querschnittsnachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{8 \text{ kNm}}{28.12 \text{ kNm}} \quad \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = 0.28 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Stabilitätsnachweise :

$$\gamma_{M1} := 1.1 \quad \text{nach DIN EN 1993-1-1 NA}$$

vollplastische Schnittgrößen :

$$V_{pl,Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad V_{pl,Rd} = \frac{8.42 \text{ cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.1} \quad V_{pl,Rd} = 103.85 \text{ kN}$$

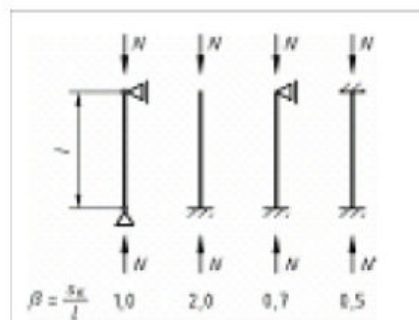
$$N_{pl,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{pl,Rd} = \frac{25.3 \text{ cm}^2}{1.1} \quad N_{pl,Rd} = 540.5 \text{ kN}$$

$$M_{pl,y,Rd} := \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad M_{pl,Rd} = \frac{119.5 \text{ cm}^3 \cdot 135 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.1} \quad M_{pl,y,Rd} = 25.53 \text{ kNm}$$

Berechnung der Knicklänge :

nach DIN 18800-2 Bild 9 S. 21

$$\beta := 1.0$$



Quelle : DIN 18800-2 Bild 9

Stablänge : $l_s := 3.97\text{m}$

$$L_{cr} := \beta \cdot l_s \quad L_{cr} = 1.0 \cdot 3.97\text{m}$$

$$L_{cr} = 3.97\text{ m}$$

1. Biegedrillknicknachweis : Ausweichen um die y-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :

Knickspannungslinie : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

$$\frac{h}{b} = \frac{114\text{mm}}{120\text{mm}} \quad \frac{h}{b} = 0.95$$

$$0.95 \leq 1.2$$

Schneider 8.25
19. Auflage

$$t = 8\text{ mm}$$

$$8\text{ mm} \leq 100\text{mm}$$

$$\text{KSL} := b$$

$$\bar{\lambda}_y := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} \quad \text{mit :} \quad N_{cr,y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} \quad N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 606\text{cm}^4}{3.97^2\text{m}^2}$$

$$N_{cr,y} = 796.91\text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{25.3\text{cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{796.91\text{kN}}}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0.86$$

Imperfektionsbeiwerte :

$$\alpha := 0.34$$

$$\text{KSL } a_0: \quad \alpha = 0,13$$

$$\text{KSL } a: \quad \alpha = 0,21$$

$$\text{KSL } b: \quad \alpha = 0,34$$

$$\text{KSL } c: \quad \alpha = 0,49$$

$$\text{KSL } d: \quad \alpha = 0,76$$

nach DIN EN 1993-1-1

Ermittlung des Abminderungsfaktors χ

für: $\bar{\lambda} \leq 0,2$ $\chi = 1,0$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

mit: $\phi := 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right]$

$$\phi = 0,5 \left[1 + 0,34(0,86 - 0,2) + 0,86^2 \right] \quad \phi = 0,99$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,99 + \sqrt{0,99^2 - 0,86^2}}$$

$$\chi_y = 0,68$$

Interaktionsbeiwert: k_{yy}

mit $C_{my} := 0,95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$N_{Rk} := f_y \cdot A \quad N_{Rk} = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 25,3 \text{ cm}^2 \quad N_{Rk} = 594,55 \text{ kN}$$

$$C_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right] \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} := C_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right] \quad k_{yy} = 0,95 \left[1 + (0,86 - 0,2) \cdot \frac{\frac{71 \text{ kN}}{0,68 \cdot 594,55 \text{ kN}}}{1,1} \right]$$

$$k_{yy} = 1,07$$

$$k_{yy} := C_{my} \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{71 \text{ kN}}{0,68 \cdot 594,55 \text{ kN}}}{1,1} \right)$$

$$k_{yy} = 1,1$$

$$k_{yy} = 1,1$$

Ideales Biegedrillknickmoment:

Momentenbeiwerte C_1 und C_2 :

Momentenverlauf	Beiwerte C_1	C_2	Momentenform	Beiwerte C_1	C_2
	1,13	0,46		1,00	$C_2 = 0$
	1,36	0,55		1,32	
	1,04	0,43		1,85	
	2,57	1,55		2,59	
	1,68	1,64		2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$C_1 := 1.13 \quad C_2 := 0.46 \quad z_g := \frac{h}{2}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}}{3.97^2 \cdot \text{m}^2} \right) \cdot \left[\sqrt{\frac{6472 \cdot \text{cm}^6}{231 \cdot \text{cm}^4} + \frac{3.97^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 81 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 5.99 \cdot \text{cm}^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 231 \text{cm}^4}} + \left(0.46 \cdot \frac{114}{2} \text{mm} \right)^2 - 0.46 \cdot \frac{114 \text{mm}}{2} \right]$$

$$M_{cr} = 11.32 \text{ kNm}$$

Bezogener Schlankheitsgrad: $\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{119.5 \text{cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{11.32 \text{kNm}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1.57$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BDK) : nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

KSL : b

$\alpha_{LT} := 0.34$

KSL a: $\alpha_{LT} = 0,21$

KSL b: $\alpha_{LT} = 0,34$

KSL c: $\alpha_{LT} = 0,49$

KSL d: $\alpha_{LT} = 0,76$

nach DIN EN 1993-1-1

$\bar{\lambda}_{LT,0} := 0.4$ (Höchstwert)

$\bar{\beta} := 0.75$ (Mittelwert)

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \bar{\beta} \cdot \lambda_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot [1 + 0.34 \cdot (1.57 - 0.4) + 0.75 \cdot 1.57^2]$$

$$\phi_{LT} = 1.63$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\beta} \cdot \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.63 + \sqrt{1.63^2 - 0.75 \cdot 1.57^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0.4$$

jedoch : $\chi_{LT} \leq 1,0$

$$0.4 \leq 1,0$$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2}$$

$$\frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{1.57^2}$$

$$\frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 0.4$$

$$0.4 \leq 0.4$$

$$\text{Nachweis : } \underline{\text{Nachweis}} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = \frac{71 \text{ kN}}{0.68 \cdot 540.5 \text{ kN}} + 1.1 \cdot \frac{8 \text{ kNm}}{0.4 \cdot 25.53 \text{ kNm}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = 1.06 \quad \text{Nachweis = "nicht erfüllt"}$$

1. Biegedrillknicknachweis :

Ausweichen um die z-Achse

Verdrehweiche Stäbe der Querschnittsklassen 1 und 2

Bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung :

nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.2

Schneider 8.25
19. AuflageKnickspannungslinie :

$$\frac{h}{b} = 0.95 \quad \frac{h}{b} = \frac{114\text{mm}}{120\text{mm}} = 0.95 \quad 0.95 \leq 1,2$$

$$t = 8\text{mm} \quad t \leq 100\text{mm}$$

$$\text{KSL} := c$$

$$\bar{\lambda}_z := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} \quad \text{mit :} \quad N_{cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 231\text{cm}^4}{3.97^2 \text{m}^2}$$

$$N_{cr,z} = 303.77 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{25.3\text{cm}^2 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{303.77 \text{ kN}}}$$

$$\bar{\lambda}_z = 1.4$$

Imperfektionsbeiwerte :

$$\alpha := 0.49$$

KSL a ₀ :	$\alpha = 0,13$
KSL a:	$\alpha = 0,21$
KSL b:	$\alpha = 0,34$
KSL c:	$\alpha = 0,49$
KSL d:	$\alpha = 0,76$
nach DIN EN 1993-1-1	

Ermittlung des Abminderungsfaktors : χ

$$\text{für :} \quad \bar{\lambda} \leq 0,2 \quad \chi = 1,0$$

$$\bar{\lambda} > 0,2 \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\begin{aligned}\text{mit : } \phi_{\text{w}} &:= 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_Z - 0.2) + \bar{\lambda}_Z^2 \right] \\ \phi &= 0.5 \left[1 + 0.49(1.4 - 0.2) + 1.4^2 \right] \\ \phi &= 1.77\end{aligned}$$

$$\chi_Z := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_Z^2}} \quad \chi_Z = \frac{1}{1.77 + \sqrt{1.77^2 - 1.4^2}}$$

Interaktionsbeiwert : k_{zy} nach DIN EN 1993-1-1 Anhang B

mit $C_{mLT} := 0.95$ nach DIN EN 1993-1-1 Tab. B3

$$\begin{aligned}N_{Rk} &:= f_y \cdot A & N_{Rk} &= 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 25.3 \text{cm}^2 & N_{Rk} &= 594.55 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_Z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_Z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) &\geq \left(1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_Z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ k_{zy} &:= \left(1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_Z}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_Z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) & k_{zy} &= \left(1 - \frac{0.1 \cdot 1.4}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{71 \text{ kN}}{\frac{0.35 \cdot 594.55 \text{ kN}}{1.1}} \right)\end{aligned}$$

$$k_{zy} = 0.92$$

$$\begin{aligned}k_{zy} &:= 1 - \frac{0.1}{C_{mLT} - 0.25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_Z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} & k_{zy} &= \left(1 - \frac{0.1}{0.95 - 0.25} \cdot \frac{71 \text{ kN}}{\frac{0.35 \cdot 594.55 \text{ kN}}{1.1}} \right)\end{aligned}$$

$$k_{zy} = 0.95$$

$$0.92 < 0.95$$

$$\longrightarrow k_{zy} = 0.95$$

Ideales Biegedrillknickmoment :

Momentenbeiwerte C_1 und C_2 :

Momentenverlauf	Beiwerte		Momentenform	Beiwerte	
	C_1	C_2		C_1	C_2
	1,13	0,46		1,00	$C_2 = 0$
	1,36	0,55		1,32	
	1,04	0,43		1,85	
	2,57	1,55		2,59	
	1,68	1,64		2,73	

Quelle: Bauingenieur [L3] Tab. 4

$$C_1 := 1.13 \quad C_2 := 0.46 \quad z_g := \frac{h}{2}$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g}$$

$$M_{cr} = 1.13 \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}}{3.97^2 \cdot \text{m}^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{6472 \cdot \text{cm}^6}{231 \cdot \text{cm}^4} + \frac{3.97^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 81 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 5.99 \cdot \text{cm}^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 231 \text{cm}^4} + \left(\frac{0.46 \cdot 114 \cdot \text{mm}}{2} \right)^2 - 0.46 \cdot \frac{114 \text{mm}}{2}}$$

$$M_{cr} = 11.32 \text{ kNm}$$

Bezogener Schlankheitsgrad :

$$\bar{\lambda}_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{119.5 \text{cm}^3 \cdot 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{11.32 \text{kNm}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1.57$$

Abminderungsbeiwert der Momentenbeanspruchung :

Knickspannungslinie (BDK) :

nach DIN EN 1993-1-1 Tab. 6.5

KSL : c

$$\alpha_{LT} = 0.49$$

$$\text{KSL a: } \alpha_{LT} = 0.21$$

$$\text{KSL b: } \alpha_{LT} = 0.34$$

$$\text{KSL c: } \alpha_{LT} = 0.49$$

$$\text{KSL d: } \alpha_{LT} = 0.76$$

nach DIN EN 1993-1-1

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4 \quad (\text{Höchstwert})$$

$$\bar{\beta} = 0.75 \quad (\text{Mittelwert})$$

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \bar{\beta} \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + 0.49 (1.57 - 0.4) + 0.75 \cdot 1.57^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 1.72$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\beta} \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \chi_{LT} = \frac{1}{1.72 + \sqrt{1.72^2 + 0.75 \cdot 1.57^2}} \quad \chi_{LT} = 0.36$$

$$\text{jedoch: } \chi_{LT} \leq 1.0 \quad 0.36 \leq 1.0$$

und

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{1.57^2} \quad \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 0.4$$

$$0.36 \leq 0.4$$

$$\longrightarrow \chi_{LT} = 0.36$$

$$\text{Nachweis: } \text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{\chi_Z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_Z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = \frac{71 \text{ kN}}{0.35 \cdot 540.5 \text{ kN}} + 0.95 \cdot \frac{8 \text{ kNm}}{0.36 \cdot 25.53 \text{ kNm}}$$

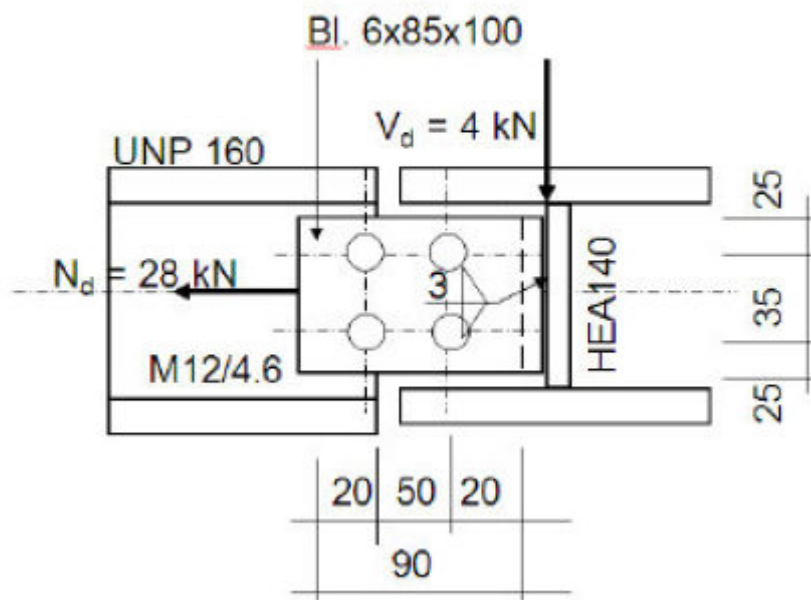
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_Z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,y,Rd}} = 1.19 \quad \text{Nachweis} = \text{"nicht erfüllt"}$$

Anhang C

Anschlussberechnung

Nachweis Pos.1 Anschluss (U160 an HEA 140)

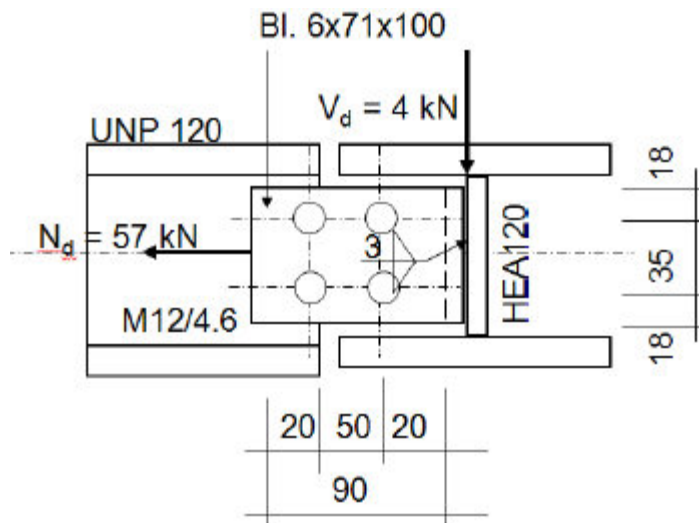
Max. $N = 28\text{kN}$, $V_z = 4\text{kN}$ (LG 24)



Nachweisführung analog Pos.1 Anschluss U160 an HEA 120

Anschluss Nachweis Pos.2 (U160 an HEA 120)

$N_d = 57 \text{ kN}, \max V_d = 4 \text{ kN}$



Nachweis Schweißnaht am HEA 120 Bl. 10 am Steg:

vorh. zwei doppelte Kehlnähte mit $a_w = 3 \text{ mm}$, $l_w = 70 \text{ mm}$

Kehlnähte

Schweißnahtdicke : $a_w := 3 \text{ mm}$

Schweißnahtlänge : $l_w := 70 \text{ mm}$

Mindestdicken und -längen:

Mindestmaße von tragenden Kehlnähten :

Nahtdicke : $a_{w.min} := 3 \text{ mm}$

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } a_w \geq a_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$3 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$

Bedingung = "erfüllt"

Nahtlänge :

$l_{w.min} := \max(30 \text{ mm}, 6 \cdot a_w)$

$l_{w.min} = \max(30 \text{ mm}, 6 \cdot 3 \text{ mm})$

$l_{w.min} = \max(30 \text{ mm}, 18 \text{ mm})$

$l_{w.min} = 30 \text{ mm}$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \geq l_{w,\min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$70\text{mm} > 30\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

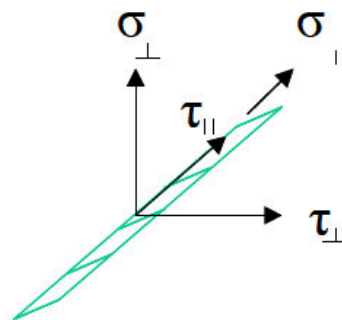
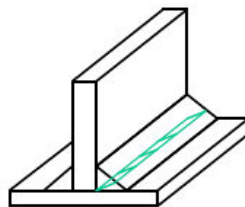
Maximale wirksame Kehlnahtlänge bei
überlappten Stößen ohne Abminderung der
Tragfähigkeit:

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \leq 150 \cdot a_w \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$70\text{mm} < 150 \cdot 3\text{mm} = 450\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Tragfähigkeit von Kehlnähten- Richtungsbezogenes Verfahren :



$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$\text{Material:} \quad \text{Stahl} := \text{S235}$$

Zugfestigkeit des Bauteils

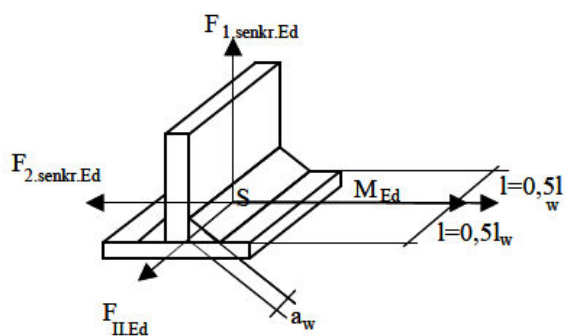
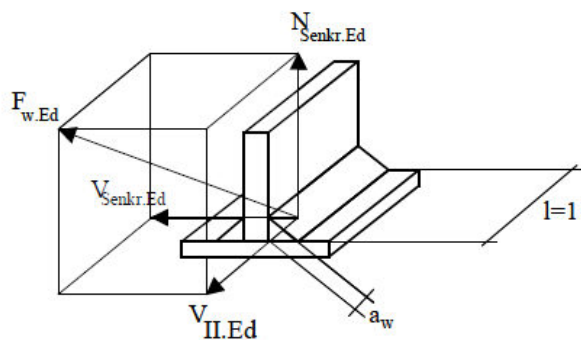
$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$



$$F_{1.\text{senkr.Ed}} := 57 \text{ kN}$$

$$F_{2.\text{senkr.Ed}} := 0 \text{ kN}$$

$$F_{II.Ed} := 4 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := 0 \text{ kNm}$$

Spannung senkrecht zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{I.Ed} := \frac{F_{1.\text{senkr.Ed}}}{2a_w \cdot l_w} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = \frac{57 \text{ kN}}{2 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = 95.96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannung parallel zur Schweißnahtachse ; $\sigma_{II.Ed} := 0 \frac{N}{mm^2}$

Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse : $\tau_{I.Ed} := \sigma_{I.Ed}$

$$\tau_{I.Ed} = 95.96 \frac{N}{mm^2}$$

Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse : $\tau_{II.Ed} := \frac{F_{II.Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w}$

$$\tau_{II.Ed} = \frac{4kN}{2 \cdot 3mm \cdot 70mm}$$

$$\tau_{II.Ed} = 9.52 \frac{N}{mm^2}$$

vorhandene Beanspruchung :

$$\sigma_{vorh} := \sqrt{\sigma_{I.Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{I.Ed}^2 + \tau_{II.Ed}^2)}$$

$$\sigma_{vorh} = \sqrt{\left(95.96 \frac{N}{mm^2}\right)^2 + 3 \cdot \left[\left(95.96 \frac{N}{mm^2}\right)^2 + \left(9.52 \frac{N}{mm^2}\right)^2\right]}$$

$$\sigma_{vorh} = 192.64 \frac{N}{mm^2}$$

Grenzscherfestigkeit :

$$f_{vw.d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} \quad f_{vw.d} = \frac{360 \frac{N}{mm^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{vw.d} = 207.85 \frac{N}{mm^2}$$

folgende 2 Nachweise müssen erfüllt sein!

1. Nachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\sigma_{vorh}}{f_{vw.d}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{vorh}}{f_{vw.d}} = \frac{192.64 \frac{N}{mm^2}}{207.85 \frac{N}{mm^2}} \quad \frac{\sigma_{vorh}}{f_{vw.d}} = 0.93 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

2. Nachweis :

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \cdot \frac{360 \frac{N}{mm^2}}{1.25} \quad 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 259.2 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \sigma_{I.Ed} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$95.96 \frac{N}{mm^2} < 259.2 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- vereinfachtes Verfahren :

Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht :

$$f_{vw,d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad f_{vw,d} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{vw,d} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit (2 Kehlnähte):

$$F_{w,Rd} := f_{vw,d} \cdot 2 \cdot a_w \quad F_{w,Rd} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot 3\text{mm}$$

$$F_{w,Rd} = 1247.08 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkende Kraft (Resultierende) je Längeneinheit :

Ermittlung der Kraftresultierenden auf einen rechtwinkligen Kehlnahtanschluss:

bei mittigem Kraftangriff $M_{Ed} = 0$

Beanspruchung bezogen auf eine beliebige Stelle der Naht mit I1

$$N_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{1.\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = \frac{57\text{kN}}{70\text{mm}} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = 814.29 \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}$$

$$V_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{2.\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{70\text{mm}} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = 0$$

$$V_{\text{II.Ed}} := \frac{F_{\text{II.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{II.Ed}} = \frac{4\text{kN}}{70\text{mm}} \quad V_{\text{II.Ed}} = 57.14 \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}$$

$$F_{w,Ed} := \sqrt{N_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{II.Ed}}^2}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(814.29 \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}\right)^2 + 0^2 + \left(57.14 \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = 816.29 \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{816.29 \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}}{1247.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} \quad \frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = 0.65 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Schraubennachweis 4 M12/4.6

$$\max V_{d,z} = 4 \text{ kN}; H_d = 57 \text{ kN}; M_d = 4 \cdot 0,05 = 0,2 \text{ kNm}$$

Querschnitte und Geometrie

Schrauben :

Schraubenkennwerte :

Festigkeitsklasse := 4.6

charakteristische Festigkeiten :

$$f_{ub} := \begin{cases} 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{ub} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yb} := \begin{cases} 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{yb} = 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

<u>Gewindedurchmesser :</u>	$d := 12\text{mm}$	
<u>Art der Schraube :</u>	$\text{Art} := \text{R}$	Eingabe P...Passschraube R... rohe Schraube
<u>Anzahl der Schrauben :</u>	$n_{\text{Schr}} := 4$	
<u>Schaftdurchmesser :</u>	$d_s := \begin{cases} d & \text{if } \text{Art} = \text{R} \\ d + 1\text{mm} & \text{if } \text{Art} = \text{P} \end{cases}$ $d_s = 12\text{mm}$	
<u>Lochdurchmesser :</u>	$d_L := 13\text{mm}$	Lochdurchmesser bei "rohen" Schrauben 1 oder 2 mm größer wählen als d (Regelfall 1mm)
<u>Schaftquerschnitt :</u>	$\underline{\underline{A}} := \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \quad A = \frac{\pi 12^2 \text{mm}^2}{4}$ $A = 113.1\text{mm}^2$	
<u>Spannungsquerschnitt :</u>	$A_s := \begin{cases} 84.3\text{mm}^2 & \text{if } d = 12\text{mm} \\ 157\text{mm}^2 & \text{if } d = 16\text{mm} \\ 245\text{mm}^2 & \text{if } d = 20\text{mm} \\ 303\text{mm}^2 & \text{if } d = 22\text{mm} \\ 353\text{mm}^2 & \text{if } d = 24\text{mm} \\ 459\text{mm}^2 & \text{if } d = 27\text{mm} \\ 561\text{mm}^2 & \text{if } d = 30\text{mm} \\ 817\text{mm}^2 & \text{if } d = 36\text{mm} \end{cases}$ $A_s = 84.3\text{mm}^2$	
<u>Gewindeteil in :</u>	$\text{Scherfuge} := j$	Eingabe : j...Gewindeteil befindet sich in Scherfuge n...außerhalb
<u>maßgebender Schaftquerschnitt :</u>	$\underline{\underline{A}} := \begin{cases} A & \text{if } \text{Scherfuge} = n \\ A_s & \text{otherwise} \end{cases}$ $A = 84.3\text{mm}^2$	

Verbindung :

$$\text{Verbindung} := \begin{cases} \text{"SL"} & \text{if } \text{Art} = \text{R} \\ \text{"SLP"} & \text{if } \text{Art} = \text{P} \end{cases}$$

$$\text{Verbindung} = \text{"SL"}$$

Profil 1 :

UNP 120

Stegdicke

$$t_w := 7\text{mm}$$

Profil 2 :

HEA 120

Flanschdicke

$$t_f := 8\text{mm}$$

Stirnplatte :

Breite

$$b_p := 100\text{mm}$$

Höhe :

$$h_p := 71\text{mm}$$

Dicke :

$$t_p := 6\text{mm}$$

Lochabstände :

$$p_1 := 50\text{mm}$$

$$e_1 := 20\text{mm}$$

$$p_2 := 35\text{mm}$$

$$e_2 := 18\text{mm}$$

Schweißnähte :

$$a := 3\text{mm}$$

Teilsicherheitsbeiwerte :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Einwirkungen :

$$V_{Ed} := 4\text{kN}$$

$$N_{Ed} := 57\text{kN}$$

$$M_{Ed} := 0.2\text{kNm}$$

$$4 \cdot (17.5^2 + 25^2) \text{mm}^2 = 3725 \text{mm}^2$$

$$N_v := \frac{V_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 25\text{mm}}{3725 \text{mm}^2}$$

$$N_v = \frac{4\text{kN}}{4} + 0.2\text{kNm} \cdot 25\text{mm} / 3725 \text{mm}^2$$

$$N_v = 2.34 \text{kN}$$

$$N_H := \frac{N_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 17.5 \text{ mm}}{3725 \text{ mm}^2}$$

$$N_H = \frac{57 \text{ kN}}{4} + \frac{0.25 \text{ kNm} \cdot 17.5 \text{ mm}}{3723 \text{ mm}^2}$$

$$N_H = 15.19 \text{ kN}$$

$$N_R := \sqrt{N_H^2 + N_V^2}$$

$$N_R = \sqrt{(15.19 \text{ kN})^2 + (2.34 \text{ kN})^2}$$

$$N_R = 15.37 \text{ kN}$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$

$$f_y := \begin{cases} 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \end{cases}$$

$$f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Überprüfung der Rand und Lochabstände :

kleinste Abstände :

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = \frac{1.2 \cdot 13\text{mm}}{20\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = 0.78$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = \frac{1.2 \cdot 13\text{mm}}{18\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = 0.87$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = \frac{2.2 \cdot 13\text{mm}}{50\text{mm}}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = 0.57$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = \frac{2.4 \cdot 13\text{mm}}{35\text{mm}}$$

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = 0.89$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bedingung = "erfüllt"

größte Abstände :

$$t_w := \min(t_p, t_w)$$

$$t = \min(6\text{mm}, 7\text{mm})$$

$$t = 6\text{ mm}$$

$$e_{\max} := 4 \cdot t + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 4 \cdot 6\text{mm} + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 64\text{ mm}$$

$$p_{\max} := \min(14 \cdot t, 200\text{mm})$$

$$p_{\max} = \min(14 \cdot 6\text{mm} = 84\text{mm}, 200\text{mm})$$

$$p_{\max} = 84\text{ mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_1}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = \frac{20\text{mm}}{64\text{mm}}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = 0.31$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_2}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = \frac{18\text{mm}}{64\text{mm}}$$

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = 0.28$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_1}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = \frac{50\text{mm}}{84\text{mm}}$$

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = 0.6$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_2}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = \frac{35\text{mm}}{84\text{mm}}$$

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = 0.42$$

Bedingung = "erfüllt"

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 400 \cdot \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{0.84 \cdot cm^2}{1.25}$$

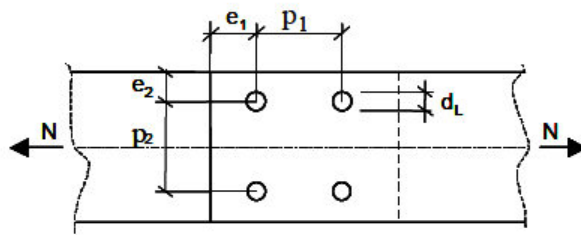
$$F_{v,Rd} = 16.19 kN$$

Nachweis auf Abscheren :

$$F_{v,Ed} := N_R$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{15.37 kN}{16.19 kN} \qquad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 0.95 \qquad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Beanspruchung auf Lochleibung :

$$e_1 = 20 \text{ mm} \quad e_2 = 18 \text{ mm}$$

$$p_1 = 50 \text{ mm} \quad p_2 = 35 \text{ mm}$$

Bauteildicke : $t_w = t_w$

$$t = 7 \text{ mm}$$

für am Rand liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_L}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{20 \text{ mm}}{3 \cdot 13 \text{ mm}} = 0.51, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 0.51$$

$$k_1 := \min \left(\frac{2.8 \cdot e_2}{d_L} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(\frac{2.8 \cdot 18 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} - 1.7 = 2.18, 1.4 \cdot \frac{35 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} - 1.7 = 2.07, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 2.07$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.07 \cdot 0.51 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 12 \text{ mm} \cdot 7 \text{ mm}}{1.25}$$

$$F_{b,Rd} = 25.67 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = \frac{15.37 \text{ kN}}{25.67 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 0.6$$

Nachweis = "erfüllt"

für innen liegende Schrauben :

$$\alpha_{bv} := \min \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_L} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{50 \text{ mm}}{3 \cdot 13 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 1.03, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.11, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$k_{1v} := \min \left(\frac{1.4 \cdot p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(\frac{1.4 \cdot 35 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} - 1.7 = 2.07, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 2.07$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b.Rd} = \frac{2.07 \cdot 1 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 12 \text{ mm} \cdot 7 \text{ mm}}{1.25}$$

$$F_{b.Rd} = 50.06 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = \frac{15.37 \text{ kN}}{50.06 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 0.31$$

Nachweis = "erfüllt"

Tragfähigkeit der Stirnplatte

$$A_n := \left(h_p - \frac{n_{\text{Schr}}}{2} \cdot d_L \right) \cdot t_p \quad A_n = \left(71 \text{ mm} - \frac{4}{2} \cdot 13 \text{ mm} \right) \cdot 6 \text{ mm}$$

$$A_n = 2.7 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} := \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_n \quad V_{c,Rd} = \frac{235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} \cdot 2.7 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 36.63 \text{ kN}$$

$$\underline{\underline{V}} := \frac{V_{Ed}}{2} \quad V = \frac{2 \text{ kN}}{2} \quad V = 2 \text{ kN}$$

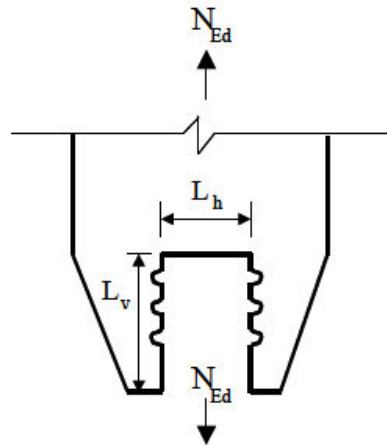
Nachweis Querkraftbeanspruchung

$$\underline{\underline{\text{Nachweis}}} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{|V|}{V_{c,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{|V|}{V_{c,Rd}} = \frac{2 \text{ kN}}{36.63 \text{ kN}} \quad \frac{|V|}{V_{c,Rd}} = 0.05 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

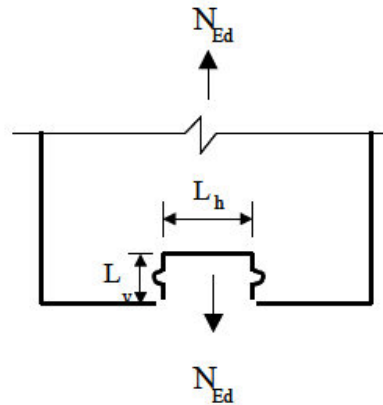
Blockversagen durch Schraubengruppen :

Symmetrische Schraubengruppe unter zentrischer Belastung



$$N_{Ed} := 57 \text{ kN}$$

$$L_v := 70 \text{ mm}$$



$$L_h := 35 \text{ mm}$$

Anzahl der Schrauben in vertikaler Richtung :

$$n_v := 2$$

Lochdurchmesser :

$$d_L = 13 \text{ mm}$$

Blechstärke :

$$t_p = 6 \text{ mm}$$

zugbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche :

$$A_{nt} := [L_h - (n_v - 1.0) \cdot d_L] \cdot t_p$$

$$A_{nt} = [35 \text{ mm} - (2 - 1) 13 \text{ mm}] 6 \text{ mm}$$

$$A_{nt} = 132 \text{ mm}^2$$

Anzahl der Schrauben in horizontaler Richtung :

$$n_h := 2$$

schubbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche :

$$A_{nv} := 2[L_v - (n_h - 0.5)d_L]t_p$$

$$A_{nv} = 2[70 \text{ mm} - (2 - 0.5) 13 \text{ mm}] 6 \text{ mm}$$

$$A_{nv} = 606 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1.0$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} := \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + f_y \cdot \frac{A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = \frac{360 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 132 \cdot \text{mm}^2}{1.25} + 235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{606 \cdot \text{mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.0}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = 120.24 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{\text{Ed}}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

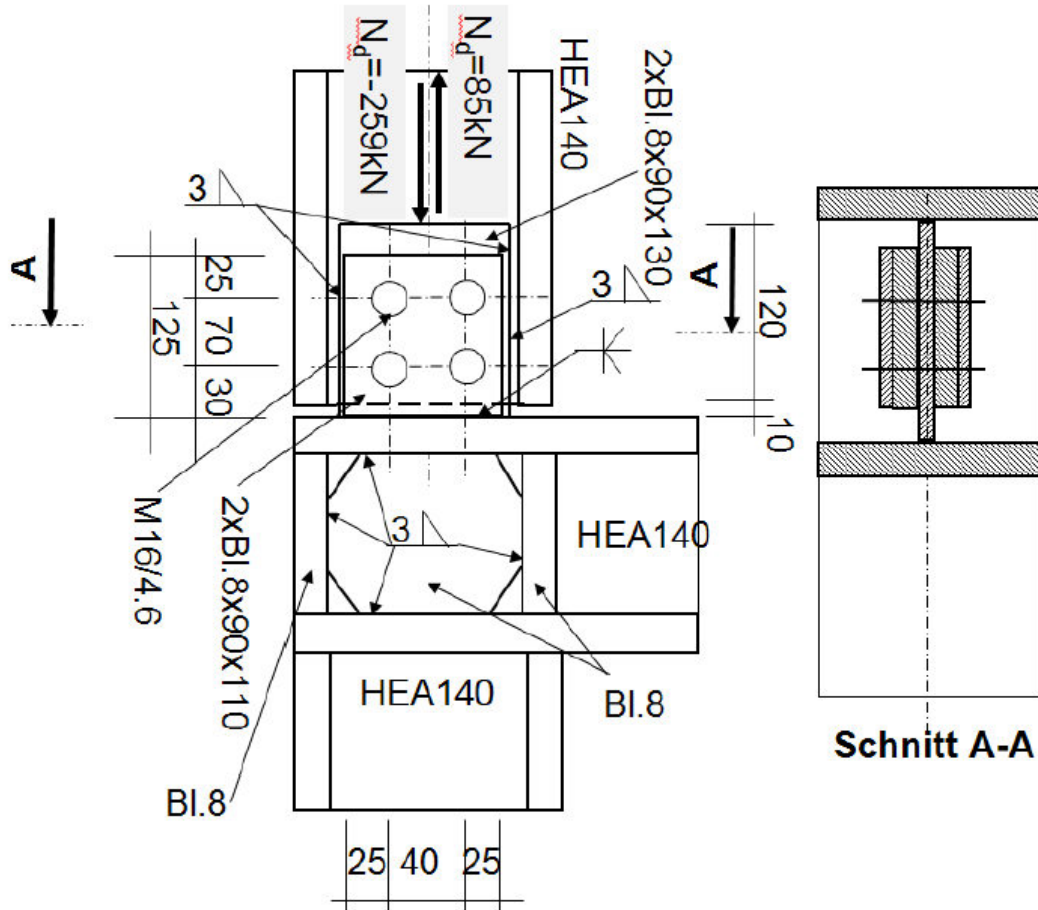
$$\frac{N_{\text{Ed}}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} = \frac{57 \text{ kN}}{120.24 \text{ kN}}$$

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} = 0.47$$

Nachweis = "erfüllt"

Nachweis Pos.3 Anschluss HEA 140

$\max N_d = -259 \text{ kN}$, $\max N_d = +85 \text{ kN}$, $\max V_{zd} = 25 \text{ kN}$ (LG 8)



Nachweis Pressdruck 2 Bl. 8x90x130

Material :

Stahl := S235

$$f_y := \begin{cases} 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \end{cases}$$

$$f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Teilsicherheitsbeiwerte : $\gamma_{M0} := 1.0$

$$A_n := 2 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 90 \text{ mm}$$

$$A_n = 14.4 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot A_n \quad N_{Rd} = \frac{235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \cdot 14.4 \text{ cm}^2 \quad N_{Rd} = 338.4 \text{ kN}$$

$$N_d := 259 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{|N_d|}{N_{Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{|N_d|}{N_{Rd}} = \frac{259 \text{ kN}}{338.4 \text{ kN}} \quad \frac{|N_d|}{N_{Rd}} = 0.77 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Nachweis Schweißnaht am HEA 140 Bl. 8x90x130 am Steg HEA 140:

vorh. zwei doppelte Kehlnähte mit $a=3\text{mm}$, $l_w=120\text{mm}$, $\max V_d=-259\text{kN}$

Kehlnähte

$$\text{Schweißnahtdicke :} \quad a_w := 3 \text{ mm}$$

$$\text{Schweißnahtlänge :} \quad l_w := 120 \text{ mm}$$

Mindestdicken und -längen:

Mindestmaße von tragenden Kehlnähten :

$$\text{Nahtdicke :} \quad a_{w,\min} := 3 \text{ mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } a_w \geq a_{w,\min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Nahllänge :

$$l_{w.min} := \max(30\text{mm}, 6 \cdot a_w)$$

$$l_{w.min} = \max(30\text{mm}, 6 \cdot 3\text{mm} = 18\text{mm})$$

$$l_{w.min} = 30\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \geq l_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$120\text{mm} > 30\text{mm}$$

Bedingung = "erfüllt"

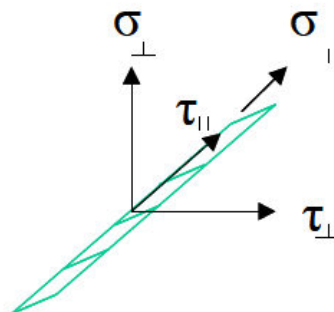
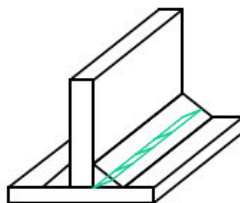
Maximale wirksame Kehlnahtlänge bei
überlappten Stößen ohne Abminderung der
Tragfähigkeit:

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \leq 150 \cdot a_w \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$120\text{mm} < 150 \cdot 3\text{mm} = 450\text{mm}$$

Bedingung = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- Richtungsbezogenes Verfahren :



$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

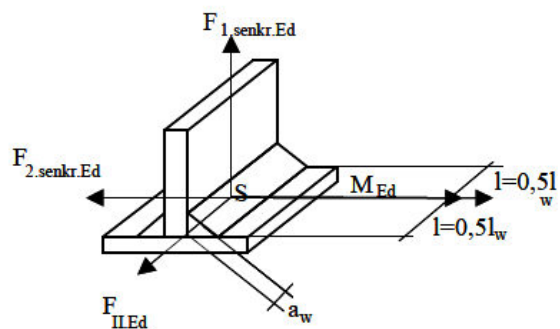
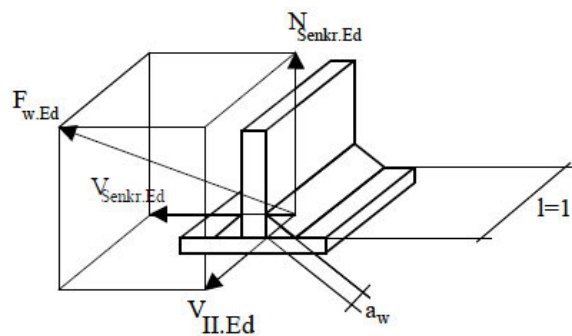
$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S235 \\ 430 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S275 \\ 510 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S355 \\ 520 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S420 \\ 540 \frac{N}{mm^2} & \text{if Stahl} = S450 \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{N}{mm^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = S235 \\ 0.85 & \text{if Stahl} = S275 \\ 0.9 & \text{if Stahl} = S355 \\ 1 & \text{if Stahl} = S420 \\ 1 & \text{if Stahl} = S450 \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$



$$F_{1.\text{senkr.Ed}} := 0\text{kN}$$

$$F_{2.\text{senkr.Ed}} := 0\text{kN}$$

$$F_{\text{II.Ed}} := 259\text{kN}$$

$$M_{\text{Ed}} := 0\text{kNcm}$$

Spannung senkrecht zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{\text{I.Ed}} := \frac{F_{1.\text{senkr.Ed}} \cdot \sqrt{2}}{4a_w \cdot l_w} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{\text{I.Ed}} = \frac{0}{4 \cdot 3\text{mm} \cdot 120\text{mm}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{\text{I.Ed}} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannung parallel zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{\text{II.Ed}} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{\text{I.Ed}} := \sigma_{\text{I.Ed}}$$

$$\tau_{\text{I.Ed}} = 0$$

Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{\text{II.Ed}} := \frac{F_{\text{II.Ed}}}{4 \cdot a_w \cdot l_w}$$

$$\tau_{\text{II.Ed}} = \frac{259\text{kN}}{4 \cdot 3\text{mm} \cdot 120\text{mm}}$$

$$\tau_{\text{II.Ed}} = 179.86 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

vorhandene Beanspruchung :

$$\sigma_{\text{vorh}} := \sqrt{\sigma_{\text{I.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{I.Ed}}^2 + \tau_{\text{II.Ed}}^2)}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot \left[0^2 + \left(179.86 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2 \right]}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = 311.53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grenzscherfestigkeit :

$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

$$f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgende 2 Nachweise müssen erfüllt sein!

1. Nachweis : Nachweis :=
$$\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}} = \frac{311.53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\left(\frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.8 \cdot 1.25} \right)} \quad \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}} = 0.87 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

2. Nachweis :
$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \cdot \frac{\left(360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{1.25} \quad 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis :=
$$\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \sigma_{\text{I.Ed}} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$0 < 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Tragfähigkeit von Kehlnähten- vereinfachtes Verfahren :

Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht :
$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit (2 Kehlnähte):

$$F_{\text{w.Rd}} := f_{\text{vw.d}} \cdot 4 \cdot a_w \quad F_{\text{w.Rd}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 4 \cdot 3\text{mm}$$

$$F_{\text{w.Rd}} = 2494.15 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkende Kraft (Resultierende) je Längeneinheit :

Ermittlung der Kraftresultierenden auf einen rechtwinkligen Kehlnahtanschluss:

bei mittigem Kraftangriff $M_{Ed} = 0$

Beanspruchung bezogen auf eine beliebige Stelle
der Naht mit I1

$$N_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{1.\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{120\text{mm}} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{2.\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{120\text{mm}} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{II.Ed}} := \frac{F_{\text{II.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{II.Ed}} = \frac{259 \text{ kN}}{120\text{mm}} \quad V_{\text{II.Ed}} = 2158.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{w.Ed} := \sqrt{N_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{II.Ed}}^2}$$

$$F_{w.Ed} = \sqrt{0^2 + 0^2 + \left(2158.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2}$$

$$F_{w.Ed} = 2158.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } F_{w.Ed} \leq F_{w.Rd} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = \frac{2158.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{2494.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} \quad \frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = 0.87 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Nachweis Schweißnaht am HEA 140 an Bl. 8 außen am Obergurt mit K-Naht:

vorh. Stumpfnah mit $a=8\text{mm}$, $l_w=90\text{mm}$, $\max N=259\text{kN}$, $M=25 \cdot 0,065=1,625\text{kNm}$
 $N_M=1,625 \cdot 10^6/94=17,3\text{kN}$, $N_R=259+17,3=276,3\text{kN}$

Stumpfnah

Schweißnahtdicke : $a_w := 8\text{mm}$

Schweißnahtlänge : $l_w := 90\text{mm}$

Mindestdicken und -längen:Mindestmaße :Nahtdicke :

$$a_{w.min} := 8\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } a_w \geq a_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$8\text{mm} = 8\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Nahtlänge :

$$l_{w.min} := \max(30\text{mm}, 6 \cdot a_w)$$

$$l_{w.min} = \max(30\text{mm}, 6 \cdot 8\text{mm} = 48\text{mm})$$

$$l_{w.min} = 48\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \geq l_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$90\text{mm} > 48\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Maximale wirksame Nahtlänge bei überlappten
Stößen ohne Abminderung der Tragfähigkeit:

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \leq 150 \cdot a_w \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$90\text{mm} < 150 \cdot 8\text{mm} = 1200\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

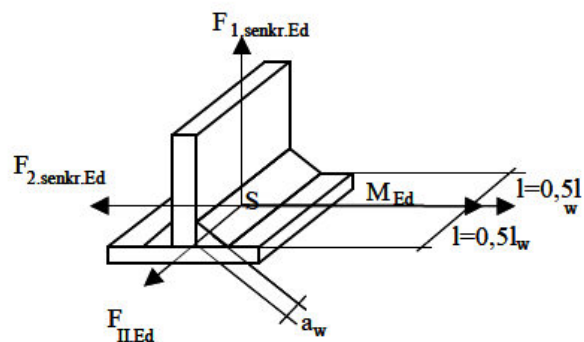
$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korrelationswert:

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$



$$F_{1.senkr.Ed} := 276.3 \text{ kN}$$

$$F_{II.Ed} := 0 \text{ kN}$$

$$F_{2.senkr.Ed} := 0 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := 0 \text{ kNcm}$$

Spannung senkrecht zur Schweißnahtachse ; $\sigma_{\perp Ed} := \frac{F_{\perp, \text{senkr.Ed}}}{2a_w \cdot l_w} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$

$$\sigma_{\perp Ed} = \frac{276.3 \text{ kN}}{2 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 90 \text{ mm}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = 135.68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannung parallel zur Schweißnahtachse ; $\sigma_{\parallel Ed} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse : $\tau_{\perp Ed} := \sigma_{\perp Ed} \quad \tau_{\perp Ed} = 135.68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse : $\tau_{\parallel Ed} := \frac{F_{\parallel Ed}}{4 \cdot a_w \cdot l_w} \quad \tau_{\parallel Ed} = \frac{0}{4 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 90 \text{ mm}}$

$$\tau_{\parallel Ed} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

vorhandene Beanspruchung :

$$\sigma_{\text{vorh}} := \sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = \sqrt{\left(135.68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left[\left(135.68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + 0^2\right]}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = 271.35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grenzscherfestigkeit :

$$f_{vw.d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

$$f_{vw.d} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{vw.d} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgende 2 Nachweise müssen erfüllt sein!

1. Nachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}} = \frac{271.35 \frac{N}{\text{mm}^2}}{360 \frac{N}{\text{mm}^2}} \quad \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}} = 0.75 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

2. Nachweis :

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 360 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1.25} \quad 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 259.2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \sigma_{\text{I.Ed}} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$135.68 \frac{N}{\text{mm}^2} < 259.2 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Tragfähigkeit von Kehlnähten- vereinfachtes Verfahren :

Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht :

$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{N}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit (2 Kehlnähte) :

$$F_{\text{w.Rd}} := f_{\text{vw.d}} \cdot 2 \cdot a_w \quad F_{\text{w.Rd}} = 207.85 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot 8\text{mm}$$

$$F_{\text{w.Rd}} = 3325.54 \frac{N}{\text{mm}}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkende Kraft (Resultierende) je Längeneinheit :

Ermittlung der Kraftresultierenden auf einen rechtwinkligen Kehlnahtanschluss:

bei mittigem Kraftangriff $M_{Ed} = 0$

Beanspruchung bezogen auf eine beliebige Stelle
der Naht mit I1

$$N_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{1.\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = \frac{276.3 \text{ kN}}{90\text{mm}} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = 3070 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{2.\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{90\text{mm}} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{II.Ed}} := \frac{F_{\text{II.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{II.Ed}} = \frac{0}{90\text{mm}} \quad V_{\text{II.Ed}} = 0 \text{ kN}$$

$$F_{w.Ed} := \sqrt{N_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{II.Ed}}^2}$$

$$F_{w.Ed} = \sqrt{\left(3070 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2 + 0^2 + 0^2}$$

$$F_{w.Ed} = 3070 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } F_{w.Ed} \leq F_{w.Rd} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = \frac{3070 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{3325.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} \quad \frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = 0.92 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Schraubennachweis 4 M16/4.6

$$\max V_{d,z} = 259 \text{ kN}; H_d = 25 \text{ kN}; M_d = 25 \cdot 0.07 = 1.75 \text{ kNm}$$

Querschnitte und Geometrie**Schrauben:****Schraubenkennwerte:**

Festigkeitsklasse := 4.6

charakteristische Festigkeiten :

$$f_{ub} := \begin{cases} 400 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 500 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 800 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 1000 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{ub} = 400 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{yb} := \begin{cases} 240 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 300 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 640 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 900 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{yb} = 240 \frac{N}{mm^2}$$

Gewindedurchmesser :

$$d := 16mm$$

Art der Schraube :

$$Art := R$$

Eingabe
P...Passschraube
R... rohe Schraub

Anzahl der Schrauben :

$$n_{Schr} := 4$$

Schaftdurchmesser :

$$d_s := \begin{cases} d & \text{if Art} = R \\ d + 1mm & \text{if Art} = P \end{cases}$$

$$d_s = 16mm$$

Lochdurchmesser :

$$d_L := 17mm$$

Lochdurchmesser bei "rohen" Schrauben 1 oder 2 mm größer wählen als d (Regelfall 1mm)

Schaftquerschnitt :

$$A_{\text{w}} := \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \quad A = \pi \cdot \frac{(16mm)^2}{4}$$

$$A = 2.01 cm^2$$

Spannungsquerschnitt :

$$A_S := \begin{cases} 84.3\text{mm}^2 & \text{if } d = 12\text{mm} \\ 157\text{mm}^2 & \text{if } d = 16\text{mm} \\ 245\text{mm}^2 & \text{if } d = 20\text{mm} \\ 303\text{mm}^2 & \text{if } d = 22\text{mm} \\ 353\text{mm}^2 & \text{if } d = 24\text{mm} \\ 459\text{mm}^2 & \text{if } d = 27\text{mm} \\ 561\text{mm}^2 & \text{if } d = 30\text{mm} \\ 817\text{mm}^2 & \text{if } d = 36\text{mm} \end{cases}$$

$$A_S = 157\text{mm}^2$$

Gewindeteil in :

$$\text{Scherfuge} := j$$

Eingabe :
j...Gewindeteil
befindet sich in
Scherfuge
n...außerhalb

maßgebender Schaftquerschnitt :

$$A_{\text{vv}} := \begin{cases} A & \text{if } \text{Scherfuge} = n \\ A_S & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A = 157\text{mm}^2$$

Verbindung :

$$\text{Verbindung} := \begin{cases} \text{"SL"} & \text{if } \text{Art} = R \\ \text{"SLP"} & \text{if } \text{Art} = P \end{cases}$$

$$\text{Verbindung} = \text{"SL"}$$

Platte :

$$\text{Breite : } b_p := 130\text{mm}$$

$$\text{Höhe : } h_p := 90\text{mm}$$

$$\text{Dicke : } t_p := 8\text{mm}$$

Lochabstände :

$$p_1 := 70\text{mm} \quad e_1 := 25\text{mm}$$

$$p_2 := 40\text{mm} \quad e_2 := 25\text{mm}$$

Teilsicherheitsbeiwerte :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Einwirkungen :

$$V_{Ed} := 259\text{kN} \quad N_{Ed} := 25\text{kN} \quad M_{Ed} := 1.75\text{kNm}$$

$$4 \cdot (35^2 + 20^2) \text{ mm}^2 = 6500 \text{ mm}^2$$

$$N_V := \frac{V_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 20 \text{ mm}}{6500 \text{ mm}^2} \quad N_V = \frac{259 \text{ kN}}{4} + \frac{1.75 \text{ kNm} \cdot 20 \text{ mm}}{6500 \text{ mm}^2} \quad N_V = 70.13 \text{ kN}$$

$$N_H := \frac{N_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 35 \text{ mm}}{6500 \text{ mm}^2} \quad N_H = \frac{259 \text{ kN}}{4} + \frac{1.75 \text{ kNm} \cdot 35 \text{ mm}}{6500 \text{ mm}^2} \quad N_H = 15.67 \text{ kN}$$

$$N_R := \sqrt{N_H^2 + N_V^2}$$

$$N_R = \sqrt{(15.67 \text{ kN})^2 + (70.13 \text{ kN})^2}$$

$$N_R = 71.86 \text{ kN}$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$

$$f_y := \begin{cases} 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \end{cases}$$

$$f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Überprüfung der Rand und Lochabstände :

kleinste Abstände :

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = \frac{1.2 \cdot 17\text{mm}}{25\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = 0.82$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = \frac{1.2 \cdot 17\text{mm}}{25\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = 0.82$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = \frac{2.2 \cdot 17\text{mm}}{70\text{mm}}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = 0.53$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = \frac{2.4 \cdot 17\text{mm}}{40\text{mm}}$$

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = 1.02$$

Bedingung = "nicht erfüllt"

größte Abstände :

$$t_w := \min(t_p) \quad t = 8 \text{ mm}$$

$$e_{\max} := 4 \cdot t + 40 \text{ mm} \quad e_{\max} = 4 \cdot 8 \text{ mm} + 40 \text{ mm} \quad e_{\max} = 72 \text{ mm}$$

$$p_{\max} := \min(14 \cdot t, 200 \text{ mm}) \quad p_{\max} = \min[(14 \cdot 8 \text{ mm} = 112 \text{ mm}), 200 \text{ mm}] \quad p_{\max} = 112 \text{ mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_1}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = \frac{25 \text{ mm}}{72 \text{ mm}} \quad \frac{e_1}{e_{\max}} = 0.35 \quad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_2}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = \frac{25 \text{ mm}}{72 \text{ mm}} \quad \frac{e_2}{e_{\max}} = 0.35 \quad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_1}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = \frac{70 \text{ mm}}{112 \text{ mm}} \quad \frac{p_1}{p_{\max}} = 0.63 \quad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_2}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = \frac{40 \text{ mm}}{112 \text{ mm}} \quad \frac{p_2}{p_{\max}} = 0.36 \quad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 400 \cdot \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{1.57 \cdot cm^2}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 30.14 \text{ kN} \quad \text{pro Scherfuge}$$

Anzahl der Scherfugen : $n := 2$

$$F_{v,Rd} \cdot n = 30.14 \text{ kN} \cdot 2 \quad F_{v,Rd} \cdot n = 60.29 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 60.29 \text{ kN}$$

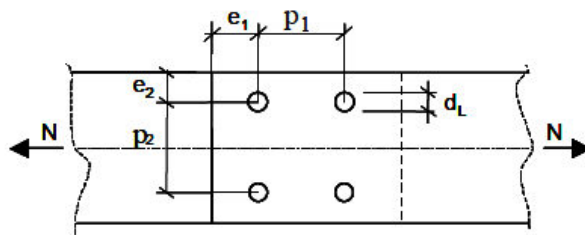
$$F_{v,Ed} := N_R \quad F_{v,Ed} = 71.86 \text{ kN}$$

Nachweis auf Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{71.86 \text{ kN}}{60.29 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 1.19 \quad \text{Nachweis} = \text{"nicht erfüllt"}$$

Beanspruchung auf Lochleibung :

$$e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$p_1 = 70 \text{ mm}$$

$$p_2 = 40 \text{ mm}$$

Bauteildicke : $t := 8 \text{ mm}$

für am Rand liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_L}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{25 \text{ mm}}{3 \cdot 17 \text{ mm}} = 0.49, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.11, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 0.49$$

$$k_1 := \min \left(\frac{2.8 \cdot e_2}{d_L} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \left(\frac{2.8 \cdot 25 \text{ mm}}{17 \text{ mm}} - 1.7 = 2.42, 1.4 \cdot \frac{40 \text{ mm}}{17 \text{ mm}} - 1.7 = 1.59, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 1.59$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b.Rd} := \frac{2k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b.Rd} = \frac{2 \cdot 1.59 \cdot 0.49 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm}}{1.25}$$

$$F_{b.Rd} = 57.61 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = \frac{71.86 \text{ kN}}{57.61 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 1.25$$

Nachweis = "nicht erfüllt"

für innen liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_L} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{70 \text{ mm}}{3 \cdot 17 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 1.12, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.11, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$k_1 := \min \left(\frac{1.4 \cdot p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right) \quad k_1 = \min \left(\frac{1.4 \cdot 40 \text{ mm}}{17 \text{ mm}} - 1.7 = 1.59, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 1.59$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b.Rd} := \frac{2k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad F_{b.Rd} = \frac{2 \cdot 1.59 \cdot 1 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm}}{1.25}$$

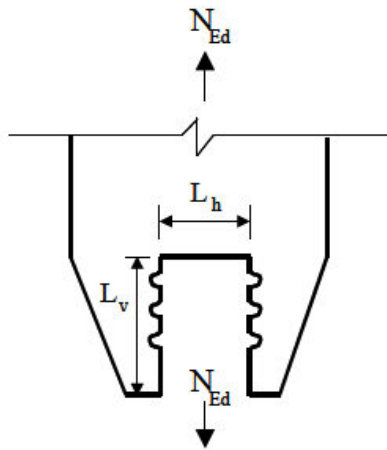
$$F_{b.Rd} = 117.53 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = \frac{71.86 \text{ kN}}{117.53 \text{ kN}}$$

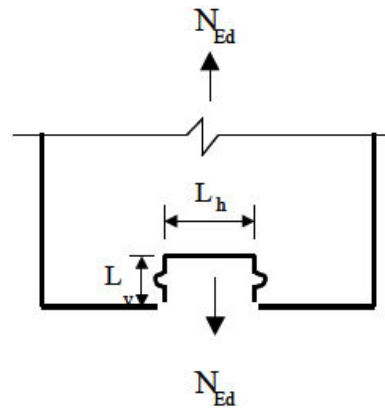
$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 0.61$$

Nachweis = "erfüllt"

Blockversagen durch Schraubengruppen :**Symmetrische Schraubengruppe unter zentrischer Belastung**

$$N_{Ed} := 259 \text{ kN}$$

$$L_v := 90 \text{ mm}$$



$$L_h := 40 \text{ mm}$$

Anzahl der Schrauben in vertikaler Richtung :

$$n_v := 2$$

Lochdurchmesser :

$$d_L = 17 \text{ mm}$$

Blechstärke :

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

zugbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche :

$$A_{nt} := [L_h - (n_v - 1.0) \cdot d_L] \cdot t_p$$

$$A_{nt} = [40 \text{ mm} - (2 - 1) \cdot 17 \text{ mm}] \cdot 8 \text{ mm}$$

$$A_{nt} = 184 \text{ mm}^2$$

Anzahl der Schrauben in horizontaler Richtung :

$$n_h := 2$$

schubbeanspruchte Nettoquerschnittsfläche :

$$A_{nv} := 2[L_v - (n_h - 0.5)d_L]t_p$$

$$A_{nv} = 2[90 \text{ mm} - (2 - 0.5) \cdot 17 \text{ mm}] \cdot 8 \text{ mm}$$

$$A_{nv} = 1032 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} := \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + f_y \cdot \frac{A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot (184 \text{ mm}^2)}{1.25} + 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \left(\frac{1032 \text{ mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.0} \right)$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = 193.01 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{N_{\text{Ed}}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

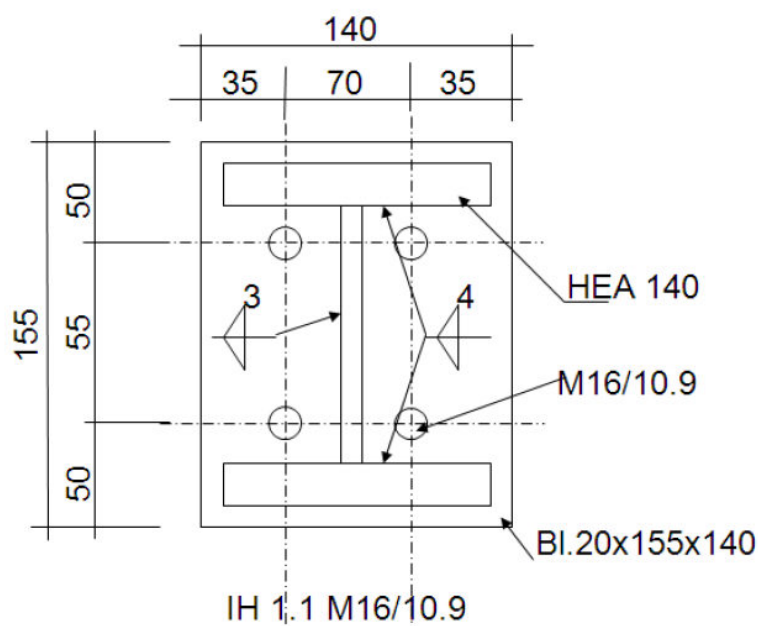
$$\frac{N_{\text{Ed}}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} = \frac{259 \text{ kN}}{193.01 \text{ kN}}$$

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{V_{\text{eff.1.Rd}}} = 1.34$$

Nachweis = "nicht erfüllt"

NW biegesteifer Stoß in Querträgermitte- IH 1.1 M16/10.9 für HEA 140

$\max M_{y,d} = 14,4 \text{ kNm}$, $V_{z,d} = 25 \text{ kN}$



Nachweis DAST-Anschluss:

$$\text{vorh. } M_{y,d} = 14,4 \text{ kNm} < M_{y,R,d} = 20,3 \text{ kNm}$$

$$\text{vorh. } V_{z,d} = 25 \text{ kN} < V_{z,R,d} = 68,7 \text{ kN}$$

Nachweis des Zugbereichs:

Tragfähigkeit des Zuggurtes:


	Festig- keit	Schraubengröße						
		M12	M16	M20	M24	M27	M30	
	Schrauben mit glattem Schaft und Gewinde							
	4.6	24,3	45,2	70,6	101,7	132,2	161,6	
	5.6	30,3	56,5	88,2	127,1	165,2	202,0	
	8.8	48,6	90,4	141,1	203,3	264,4	323,1	
10.9	60,7	113,0	176,4	254,2	330,5	403,9		

Tabelle 56 : Grenzzugkräfte $F_{t,Rd}$ für eine Schraube in kN

Quelle: [5]

Nachweis des T-Stummels:

$$\begin{aligned} r &:= 12 \text{ mm} & h_{pl} &:= 155 \text{ mm} & a &:= 3 \text{ mm} \\ h_{HEA} &:= 133 \text{ mm} & b_{pl} &:= 14 \text{ cm} & f_y &:= 235 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\ t_w &:= 8.5 \text{ mm} & t_{pl} &:= 8 \text{ mm} & \gamma_{M0} &:= 1.0 \\ e &:= 35 \text{ mm} \\ e_1 &:= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m := \frac{b_{pl}}{2} - e - 0.8 \cdot r \cdot \sqrt{2}$$

$$m = 14 \frac{\text{cm}}{2} - 35 \text{ mm} - 0.8 \cdot 12 \text{ mm} \cdot \sqrt{2}$$

$$m = 2.14 \text{ cm}$$

$$m_2 := \left(e_1 - \frac{h_{pl} - h_{HEA}}{2} \cdot -0.95 \right) - 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2}$$

$$m_2 = \left(50\text{mm} - \frac{155\text{mm} - 133\text{mm}}{2} \cdot -0.8 \cdot 3\text{mm} \cdot \sqrt{2} \right)$$

$$m_2 = 5.71\text{ cm}$$

$$\lambda_1 := \frac{m}{m + e}$$

$$\lambda_1 = \frac{2.14\text{cm}}{2.14\text{cm} + 35\text{mm}}$$

$$\lambda_1 = 0.38$$

$$\lambda_2 := \frac{m_2}{m + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{5.71\text{cm}}{5.71\text{cm} + 35\text{mm}}$$

$$\lambda_2 = 1.01$$

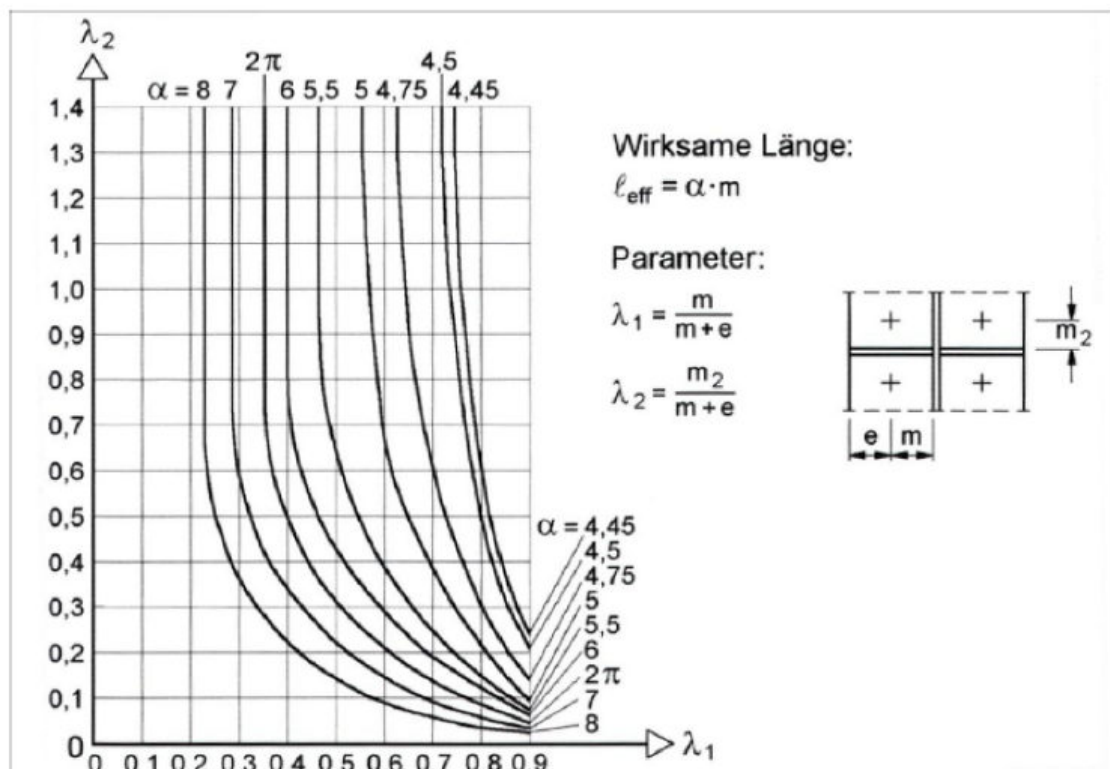


Abbildung 24: Beiwert α

Quelle: [5]

$$\alpha := 6$$

Innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch :

$$l_{\text{eff.cp}} := 2\pi \cdot m$$

$$l_{\text{eff.cp}} = 2 \cdot \pi \cdot 21.42 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.cp}} = 13.46 \text{ cm}$$

$$l_{\text{eff.nc}} := \alpha \cdot m$$

$$l_{\text{eff.nc}} = 6 \cdot 21.42 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff.nc}} = 12.85 \text{ cm}$$

$$M_{\text{pl.1.Rd}} := 0.25 \cdot l_{\text{eff.nc}} \cdot t^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{\text{pl.1.Rd}} = 0.25 \cdot (12.85 \cdot \text{cm}) \cdot (8.5 \cdot \text{mm})^2 \cdot \frac{235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0}$$

$$M_{\text{pl.1.Rd}} = 545.62 \text{ kNcm}$$

$$M_{\text{pl.2.Rd}} := 0.25 \cdot l_{\text{eff.nc}} \cdot t^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{\text{pl.2.Rd}} = 0.25 \cdot \left[(12.85 \cdot \text{cm}) \cdot (8.5 \cdot \text{mm})^2 \cdot \frac{235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.0} \right]$$

$$M_{\text{pl.2.Rd}} = 545.62 \text{ kNcm}$$

$$n = e_{\text{min}}$$

$$e_{\text{min}} := 35 \text{ mm} \quad \text{jedoch :} \quad n \leq 1.25 \cdot m = 1.25 \cdot 21.42 \text{ cm} = 26.78 \text{ cm}$$

$$n := 26.78 \text{ cm}$$

$$\text{Modus 1:} \quad F_{\text{T.1.Rd}} := \frac{4 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}}}{m} \quad F_{\text{T.1.Rd}} = \frac{4 \cdot (545.62 \text{ kNcm})}{21.42 \text{ mm}} \quad F_{\text{T.1.Rd}} = 1018.73 \text{ kN}$$

$$\text{Modus 2:} \quad F_{\text{t.Rd}} := 113 \text{ kN} \quad n. \text{ Tab. 48}$$

$$F_{\text{T.2.Rd}} := \frac{2 \cdot M_{\text{pl.1.Rd}} + n \cdot 2 \cdot F_{\text{t.Rd}}}{m + n} \quad F_{\text{T.2.Rd}} = \frac{2 \cdot (545.62 \text{ kNcm}) + 26.78 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 113 \text{ kN}}{21.42 \text{ mm} + 26.78 \text{ mm}}$$

$$F_{\text{T.2.Rd}} = 351.89 \text{ kN}$$

$$\text{Modus 3:} \quad F_{\text{T.3.Rd}} := 2 \cdot F_{\text{t.Rd}}$$

$$F_{\text{T.3.Rd}} = 2 \cdot 113 \text{ kN}$$

$$F_{\text{T.3.Rd}} = 226 \text{ kN}$$

maßgebend wird Modus 3

$$F_{\text{T.Rd}} := F_{\text{T.3.Rd}}$$

$$F_{\text{T.Rd}} = 226 \text{ kN}$$

Grenzdurchstanzkraft für eine Schraube:

<p>Sechskantschraube DIN EN 14 399-4</p> <p>Scheibe DIN EN 14 399-6</p> <p>Mutter DIN EN 14 399-4</p>		<p>Sechskant-Passschraube DIN EN 14 399-8</p> <p>Scheibe DIN EN 14 399-6</p> <p>Mutter DIN EN 14 399-4</p>							
Schraubengröße →		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Gewinde-Ø	d	12	16	20	22	24	27	30	36
Schaft-Ø	d_s	= Gewinde-Ø d							
dto. Passschraube	d_s	13	17	21	23	25	28	31	37
Kopfhöhe	k	8	10	13	14	15	17	19	23
Mutterhöhe	max m	10	13	16	18	20	22	24	29
Schlüsselweite	s	22	27	32	36	41	46	50	60
Eckenmaß	min e	23,91	29,56	35,03	39,55	45,20	50,85	55,37	66,44
Scheiben-Ø		24	30	37	39	44	50	56	66
Scheibendicke	t	3	4	4	4	4	5	5	6

Tabelle 57: Schraubenmaße in mm für Sechskantschrauben mit großen Schlüsselweiten (HV - Schrauben) nach DIN EN 14399-4 und DIN EN 14399-8

Quelle: [6]

$$s := 2.7\text{mm} \quad \min_e := 29.56\text{mm} \quad \text{n. Tabelle 52}$$

$$d_m := \frac{s + \min_e}{2} \quad d_m = \frac{2.7\text{mm} + 29.56\text{mm}}{2} \quad d_m = 1.61\text{cm}$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$B_{p,Rd} := 0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M2}} \quad B_{p,Rd} = 0.6 \cdot \pi \cdot 1.61\text{cm} \cdot 8\text{mm} \cdot \frac{235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.25} \quad B_{p,Rd} = 457.28\text{ kN}$$

$$\Sigma B_{p,Rd} = 2B_{p,Rd} = 2 \cdot 457.28\text{kN} = 914.56\text{ kN}$$

Tragfähigkeit des Zuggurtes :

$$f_y \cdot \frac{A_g}{\gamma_{M0}} = 23.5 \cdot \frac{\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 14\text{cm} \cdot 0.85\text{cm}}{1.0} = 279.65\text{kN}$$

$$N_{z,max} = \min \left[F_{T,Rd}, \Sigma B_{p,Rd}, \left(f_y \cdot \frac{A_g}{\gamma_{M0}} \right) \right] = \min(226 \text{ kN}, 914,56 \text{ kN}, 279,65 \text{ kN})$$

$$N_{z,max} := 226 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} := N_{z,max} \left[h_{pl} - e_1 - \left(\frac{h_{pl} - h_{HEA}}{2} \right) - \frac{t}{2} \right]$$

$$M_{y,Rd} = 226 \text{ kN} \left[155 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - \left(\frac{155 \text{ mm} - 133 \text{ mm}}{2} \right) - \frac{8.5 \text{ mm}}{2} \right]$$

$$M_{y,Rd} = 20.28 \text{ kNm}$$

Nachweis : $\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0$ mit $M_{y,Ed} := 14.4 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{14.4 \text{ kNm}}{20.28 \text{ kNm}} \quad \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = 0.71 \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Schubnachweis der Schrauben und des Grundwerkstoffes:

Schubnachweis einer Schrauben mit $V_{t,Ed} := 25 \text{ kN}$

$$F_{V,Ed} := \frac{V_{t,Ed}}{2} \quad F_{V,Ed} = \frac{25 \text{ kN}}{2} \quad F_{V,Ed} = 12.5 \text{ kN}$$

Festig- keit	Schraubengröße					
	M12	M16	M20	M24	M27	M30
glatter Teil des Schaftes in der Scherfuge						
4.6	21,7	38,6	60,3	86,8	110,0	135,7
5.6	27,1	48,2	75,4	108,5	137,5	169,7
8.8	43,4	77,2	120,6	173,6	220,0	271,5
10.9	54,3	96,5	150,7	217,0	275,0	339,4
Gewinde in der Scherfuge						
4.6	16,2	30,1	47,0	67,8	88,1	107,7
5.6	20,2	37,7	58,8	84,7	110,2	134,6
8.8	32,4	60,3	94,1	135,6	176,3	215,4
10.9	33,7	62,8	98,0	141,2	183,6	224,4

Tabelle 58: Grenzausscherkraft $F_{V,Rd}$ in kN für eine Scherfläche

Quelle: [5]

$$F_{V,Rd} := 96.5 \text{ kN} \quad \text{n. Tabelle 53}$$

$$\text{Nachweis :} \quad \frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} = \frac{12.5 \text{ kN}}{96.5 \text{ kN}} \quad \frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} = 0.13 \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Trägergrundwerkstoff auf Schub :

$$A_f = b \cdot t_f = 14 \text{ cm} \cdot 0.85 \text{ cm} = 11.9 \text{ cm}^2$$

$$A_w = h_1 \cdot t_w = 9.2 \text{ cm} \cdot 0.55 \text{ cm} = 5.06 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{11.9 \text{ cm}^2}{5.06 \text{ cm}^2} = 2.35 > 0.6$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} = \frac{25 \text{ kN}}{5.06 \text{ cm}^2} = 4.94 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis :} \quad \frac{\tau_{Ed} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{4.94 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \sqrt{3} \cdot 1.0}{23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0.36 \leq 1.0 \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis des Druckbereichs :

$$a_g := h_{pl} - e_1 - \left(\frac{h_{pl} - h_{HEA}}{2} \right) - \frac{t}{2}$$

$$a_g = 155 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - \left(\frac{155 \text{ mm} - 133 \text{ mm}}{2} \right) - \frac{8.5 \text{ mm}}{2}$$

$$a_g = 89.75 \text{ mm}$$

$$N_{D,Rd} = f_y \cdot \frac{A_g}{\gamma_{M0}} \quad N_{D,Rd} := 23.5 \frac{\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 14 \text{ cm} \cdot 0.85 \text{ cm}}{1.0} \quad N_{D,Rd} = 279.65 \text{ kN}$$

$$N_D := \frac{M_{y,Ed}}{a_g} \quad N_D = \frac{14.4 \text{ kNm}}{89.75 \text{ mm}} \quad N_D = 160.45 \text{ kN}$$

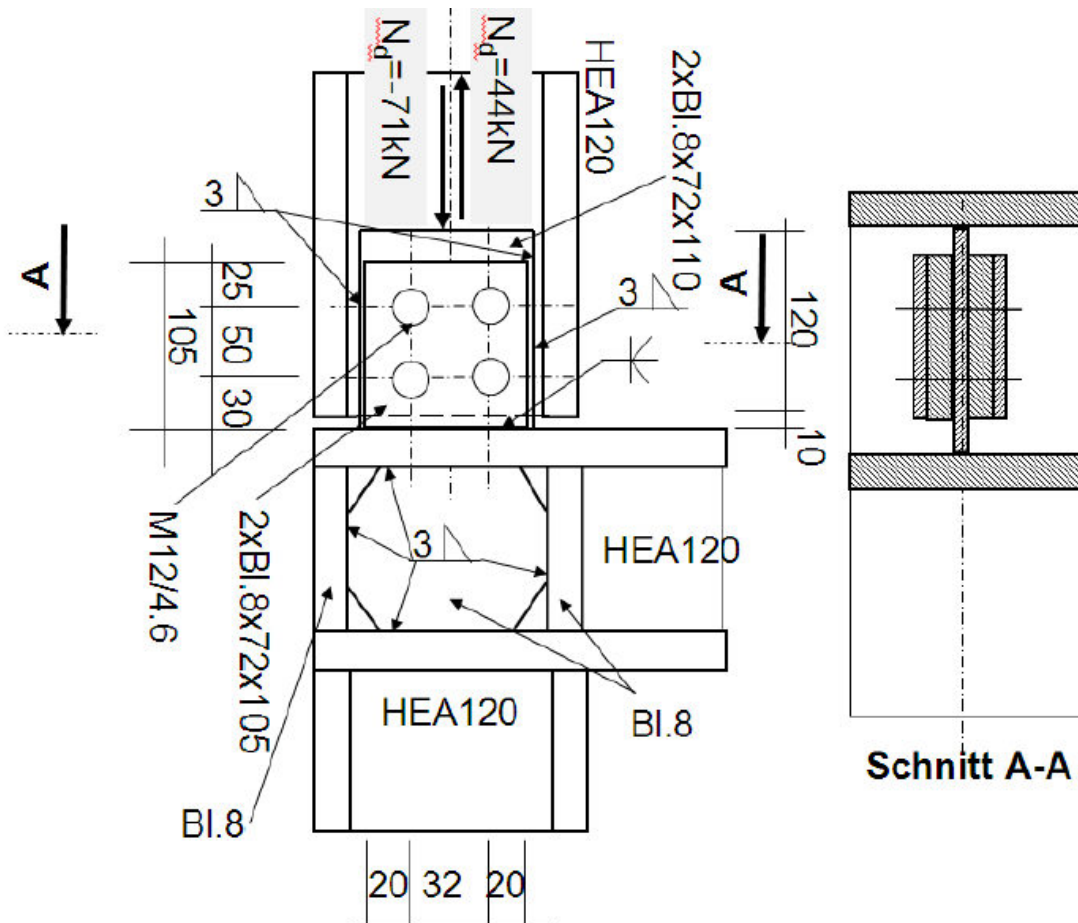
$$\text{Nachweis :} \quad \frac{N_D}{N_{D,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_D}{N_{D,Rd}} = \frac{160.45 \text{ kN}}{279.65 \text{ kN}} \quad \frac{N_D}{N_{D,Rd}} = 0.57 \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis Anschluss HEA 120 Pos. .5

$\max.N_d = -71\text{kN}$ und zugeh. $V_{z,d} = 7,6\text{ kN}$ (LG3)

$\max.N_d = +44\text{kN}$; $V_{z,d} = 7,6\text{ kN}$ (LG24)

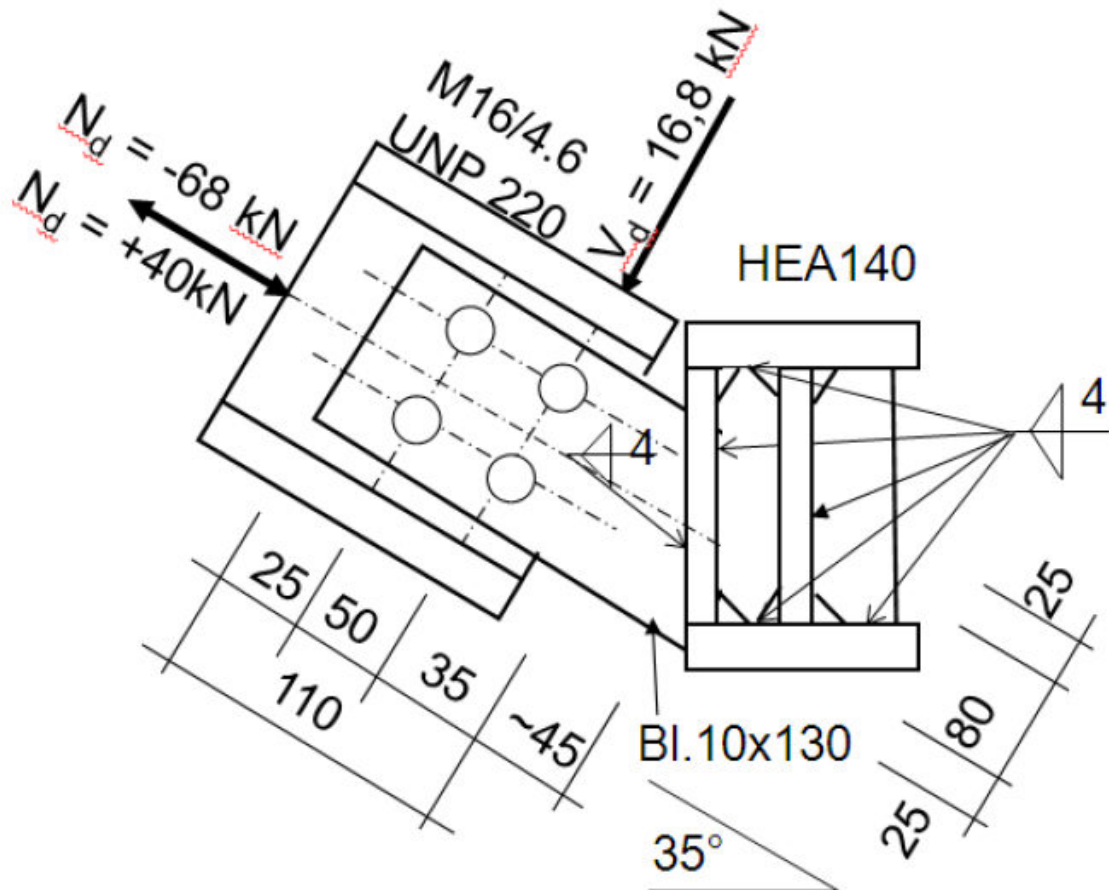


Die Nachweisführung ist analog die des Anschlusses HEA 140 Pos. 3. Auf die Berechnung wird verzichtet.

Anschluss UNP 220 Pos. 6

max. $N_d = -68 \text{ kN}$ und zugeh. $V_{z,d} = 8,3 \text{ kN}$ (LG20)

max. $N_d = +58 \text{ kN}$; $V_{z,d} = 16,8 \text{ kN}$



Nachweis der Stirnnaht am Steg U220 Bl.10

vorh. Stumpfnah mit $a=4\text{mm}$, $l_w=130\text{mm}$

$$N_H := \cos(0.61) \cdot 68 \text{ kN} + \sin(0.61) \cdot 16.8 \text{ kN}$$

$$N_H = 65.36 \text{ kN}$$

$$N_V := \sin(0.61) \cdot 68 \text{ kN} + \cos(0.61) \cdot 16.8 \text{ kN}$$

$$N_V = 52.73 \text{ kN}$$

Stumpfnah

Schweißnahtdicke : $a_w := 8 \text{ mm}$

Schweißnahtlänge : $l_w := 90 \text{ mm}$

Mindestdicken und -längen:Mindestmaße :Nahtdicke :

$$a_{w,min} := 8\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } a_w \geq a_{w,min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$8\text{mm} = 8\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Nahllänge :

$$l_{w,min} := \max(30\text{mm}, 6 \cdot a_w)$$

$$l_{w,min} = \max(30\text{mm}, 6 \cdot 8\text{mm} = 48\text{mm})$$

$$l_{w,min} = 48\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \geq l_{w,min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$90\text{mm} > 48\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Maximale wirksame Nahtlänge bei überlappten
Stößen ohne Abminderung der Tragfähigkeit:

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \leq 150 \cdot a_w \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$90\text{mm} < 150 \cdot 8\text{mm} = 1200\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

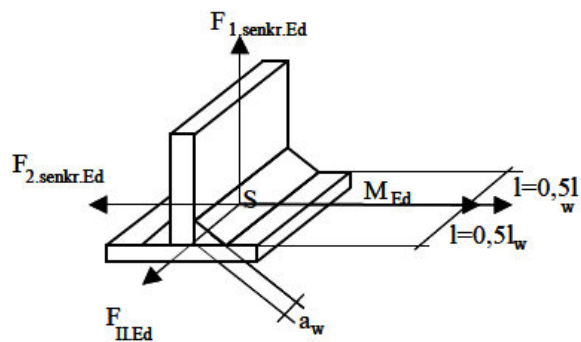
$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$



$$F_{1,\text{senkr.Ed}} := 65.3\text{kN}$$

$$F_{2,\text{senkr.Ed}} := 0\text{kN}$$

$$F_{II,\text{Ed}} := 52.8\text{kN}$$

$$M_{\text{Ed}} := 0\text{kNcm}$$

Spannung senkrecht zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{I.Ed} := \frac{F_{1.senkr.Ed}}{2a_w \cdot l_w} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = \frac{65.3 \text{ kN}}{2 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 90 \text{ mm}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = 32.07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannung parallel zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{II.Ed} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{I.Ed} := \sigma_{I.Ed} \quad \tau_{I.Ed} = 32.07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{II.Ed} := \frac{F_{II.Ed}}{4 \cdot a_w \cdot l_w} \quad \tau_{II.Ed} = \frac{52.8 \text{ kN}}{4 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 90 \text{ mm}}$$

$$\tau_{II.Ed} = 18.33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

vorhandene Beanspruchung :

$$\sigma_{vorh} := \sqrt{\sigma_{I.Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{I.Ed}^2 + \tau_{II.Ed}^2)}$$

$$\sigma_{vorh} = \sqrt{\left(32.07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left[\left(32.07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + \left(18.33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2\right]}$$

$$\sigma_{vorh} = 71.56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grenzscherfestigkeit :

$$f_{vw.d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

$$f_{vw.d} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{vw.d} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgende 2 Nachweise müssen erfüllt sein!

1. Nachweis : Nachweis :=
$$\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_u} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_u} = \frac{71.56 \frac{N}{\text{mm}^2}}{360 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 0.2 \quad \text{Nachweis = "erfüllt"}$$

2. Nachweis :
$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 360 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1.25} = 259.2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Nachweis :=
$$\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \sigma_{\text{I.Ed}} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$32.07 \frac{N}{\text{mm}^2} < 259.2 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Nachweis = "erfüllt"}$$

Tragfähigkeit von Kehlnähten- vereinfachtes Verfahren :

Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht :
$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{N}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit (2 Kehlnähte):

$$F_{\text{w.Rd}} := f_{\text{vw.d}} \cdot a_w \quad F_{\text{w.Rd}} = 207.85 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot 8\text{mm}$$

$$F_{\text{w.Rd}} = 3325.54 \frac{N}{\text{mm}}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkende Kraft (Resultierende) je Längeneinheit :

Ermittlung der Kraftresultierenden auf einen rechtwinkligen Kehlnahtanschluss:

bei mittigem Kraftangriff $M_{Ed} = 0$

Beanspruchung bezogen auf eine beliebige Stelle
der Naht mit I1

$$N_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{1.\text{senkr.Ed}}}{I_w} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = \frac{65.3 \text{ kN}}{90\text{mm}} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = 725.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{2.\text{senkr.Ed}}}{I_w} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{90\text{mm}} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{II.Ed}} := \frac{F_{\text{II.Ed}}}{I_w} \quad V_{\text{II.Ed}} = \frac{52.8 \text{ kN}}{90\text{mm}} \quad V_{\text{II.Ed}} = 586.67 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{w.Ed} := \sqrt{N_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{II.Ed}}^2}$$

$$F_{w.Ed} = \sqrt{\left(725.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2 + 0^2 + \left(586.67 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2}$$

$$F_{w.Ed} = 933.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } F_{w.Ed} \leq F_{w.Rd} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = \frac{933.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{3325.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} \quad \frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = 0.28 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Schraubennachweis 4 M16/4.6

$$\max V_{d,z} = 68 \text{ kN}; H_d = 16,8 \text{ kN}; M_d = 16,8 * (0,025+0,035+0,045) \sim 2 \text{ kNm}$$

Querschnitte und Geometrie

Schrauben :

Schraubenkennwerte :

Festigkeitsklasse := 4.6

charakteristische Festigkeiten :

$$f_{ub} := \begin{cases} 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{ub} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yb} := \begin{cases} 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{yb} = 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

<u>Gewindedurchmesser :</u>	$d := 16\text{mm}$	
<u>Art der Schraube :</u>	$\text{Art} := \text{R}$	Eingabe P...Passschraube R... rohe Schraub
<u>Anzahl der Schrauben :</u>	$n_{\text{Schr}} := 4$	
<u>Schaftdurchmesser :</u>	$d_s := \begin{cases} d & \text{if } \text{Art} = \text{R} \\ d + 1\text{mm} & \text{if } \text{Art} = \text{P} \end{cases}$ $d_s = 16\text{mm}$	
<u>Lochdurchmesser :</u>	$d_L := 17\text{mm}$	Lochdurchmesser bei "rohen" Schrauben 1 oder 2 mm größer wählen als d (Regelfall 1mm)
<u>Schaftquerschnitt :</u>	$\underline{\underline{A}} := \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \quad A = \pi \cdot \frac{(16\text{mm})^2}{4}$ $A = 201.06\text{mm}^2$	
<u>Spannungsquerschnitt :</u>	$A_s := \begin{cases} 84.3\text{mm}^2 & \text{if } d = 12\text{mm} \\ 157\text{mm}^2 & \text{if } d = 16\text{mm} \\ 245\text{mm}^2 & \text{if } d = 20\text{mm} \\ 303\text{mm}^2 & \text{if } d = 22\text{mm} \\ 353\text{mm}^2 & \text{if } d = 24\text{mm} \\ 459\text{mm}^2 & \text{if } d = 27\text{mm} \\ 561\text{mm}^2 & \text{if } d = 30\text{mm} \\ 817\text{mm}^2 & \text{if } d = 36\text{mm} \end{cases}$ $A_s = 157\text{mm}^2$	
<u>Gewindeteil in :</u>	$\text{Scherfuge} := \text{j}$	Eingabe : j...Gewindeteil befindet sich in Scherfuge n...außerhalb
<u>maßgebender Schaftquerschnitt :</u>	$\underline{\underline{A}} := \begin{cases} A & \text{if } \text{Scherfuge} = \text{n} \\ A_s & \text{otherwise} \end{cases}$ $A = 157\text{mm}^2$	
<u>Verbindung :</u>	$\text{Verbindung} := \begin{cases} \text{"SL"} & \text{if } \text{Art} = \text{R} \\ \text{"SLP"} & \text{if } \text{Art} = \text{P} \end{cases}$ $\text{Verbindung} = \text{"SL"}$	

Lochabstände :

$$p_1 := 50\text{mm} \quad e_1 := 25\text{mm}$$

$$p_2 := 80\text{mm} \quad e_2 := 25\text{mm}$$

Teilsicherheitsbeiwerte :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Einwirkungen :

$$V_{Ed} := 68\text{kN} \quad N_{Ed} := 16.8\text{kN} \quad M_{Ed} := 2\text{kNm}$$

$$4 \cdot (40^2 + 25^2) \text{mm}^2 = 8900 \text{mm}^2$$

$$N_V := \frac{V_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 25\text{mm}}{8900\text{mm}^2} \quad N_V = \frac{68\text{kN}}{4} + \frac{2\text{kNm} \cdot 25\text{mm}}{8900\text{mm}^2} \quad N_V = 22.62\text{kN}$$

$$N_H := \frac{N_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M_{Ed} \cdot 40\text{mm}}{8900\text{mm}^2} \quad N_H = \frac{16.8\text{kN}}{4} + \frac{2\text{kNm} \cdot 40\text{mm}}{8900\text{mm}^2} \quad N_H = 13.19\text{kN}$$

$$N_R := \sqrt{N_H^2 + N_V^2}$$

$$N_R = \sqrt{(13.19 \text{ kN})^2 + (22.62 \text{ kN})^2}$$

$$N_R = 26.18\text{kN}$$

Material : Stahl := S235**Zugfestigkeit des Bauteils**

$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$

$$f_y := \begin{cases} 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \end{cases}$$

$$f_y = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Überprüfung der Rand und Lochabstände :kleinste Abstände :

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = \frac{1.2 \cdot 17\text{mm}}{25\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = 0.82$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = \frac{1.2 \cdot 17\text{mm}}{25\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = 0.82$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = \frac{2.2 \cdot 17\text{mm}}{50\text{mm}}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = 0.75$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = \frac{2.4 \cdot 17\text{mm}}{80\text{mm}}$$

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = 0.51$$

Bedingung = "erfüllt"

größte Abstände :

$$t := 9\text{mm}$$

$$e_{\max} := 4 \cdot t + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 4 \cdot 9\text{mm} + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 76\text{mm}$$

$$p_{\max} := \min(14 \cdot t, 200\text{mm})$$

$$p_{\max} = \min[(14 \cdot 9\text{mm} = 126\text{mm}), 200\text{mm}]$$

$$p_{\max} = 126\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_1}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = \frac{25\text{mm}}{72\text{mm}}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = 0.33$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_2}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = \frac{25\text{mm}}{76\text{mm}}$$

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = 0.33$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_1}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = \frac{50\text{mm}}{126\text{mm}}$$

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = 0.4$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_2}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = \frac{80\text{mm}}{126\text{mm}}$$

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = 0.63$$

Bedingung = "erfüllt"

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 400 \cdot \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{1.57 \cdot cm^2}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 30.14 \text{ kN} \quad \text{pro Scherfuge}$$

Anzahl der Scherfugen : $n_s := 1$

$$F_{v,Rd} \cdot n = 30.14 \text{ kN} \cdot 1 \quad F_{v,Rd} \cdot n = 30.14 \text{ kN}$$

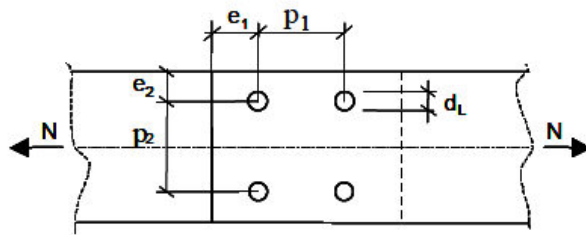
$$F_{v,Rd} = 30.14 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} := N_R \quad F_{v,Ed} = 26.18 \text{ kN}$$

Nachweis auf Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{26.18 \text{ kN}}{30.14 \text{ kN}} \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 0.87 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Beanspruchung auf Lochleibung :

$$e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$p_1 = 50 \text{ mm}$$

$$p_2 = 80 \text{ mm}$$

Bauteildicke : $t = 9 \text{ mm}$

für am Rand liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_L}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{25 \text{ mm}}{3 \cdot 17 \text{ mm}} = 0.49, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.11, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 0.49$$

$$k_1 := \min \left(\frac{2.8 \cdot e_2}{d_L} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \left(\frac{2.8 \cdot 25 \text{ mm}}{17 \text{ mm}} - 1.7 = 2.42, 1.4 \cdot \frac{80 \text{ mm}}{17 \text{ mm}} - 1.7 = 3.01, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 2.42$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{2 k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad F_{b,Rd} = \frac{2 \cdot 1.59 \cdot 0.49 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm} \cdot 9 \text{ mm}}{1.25}$$

$$F_{b,Rd} = 98.3 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{26.18 \text{ kN}}{98.3 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = 0.27$$

Nachweis = "erfüllt"

für innen liegende Schrauben :

$$\alpha_{bv} := \min \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_L} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 0.73$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{50 \text{ mm}}{3 \cdot 17 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 0.73, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.11, 1 \right)$$

$$k_1 := \min \left(\frac{1.4 \cdot p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 2.5$$

$$k_1 = \min \left(\frac{1.4 \cdot 80 \text{ mm}}{17 \text{ mm}} - 1.7 = 4.89, 2.5 \right)$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{2k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 151.45 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2 \cdot 2.5 \cdot 0.73 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm} \cdot 9 \text{ mm}}{1.25}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{26.18 \text{ kN}}{151.45 \text{ kN}}$$

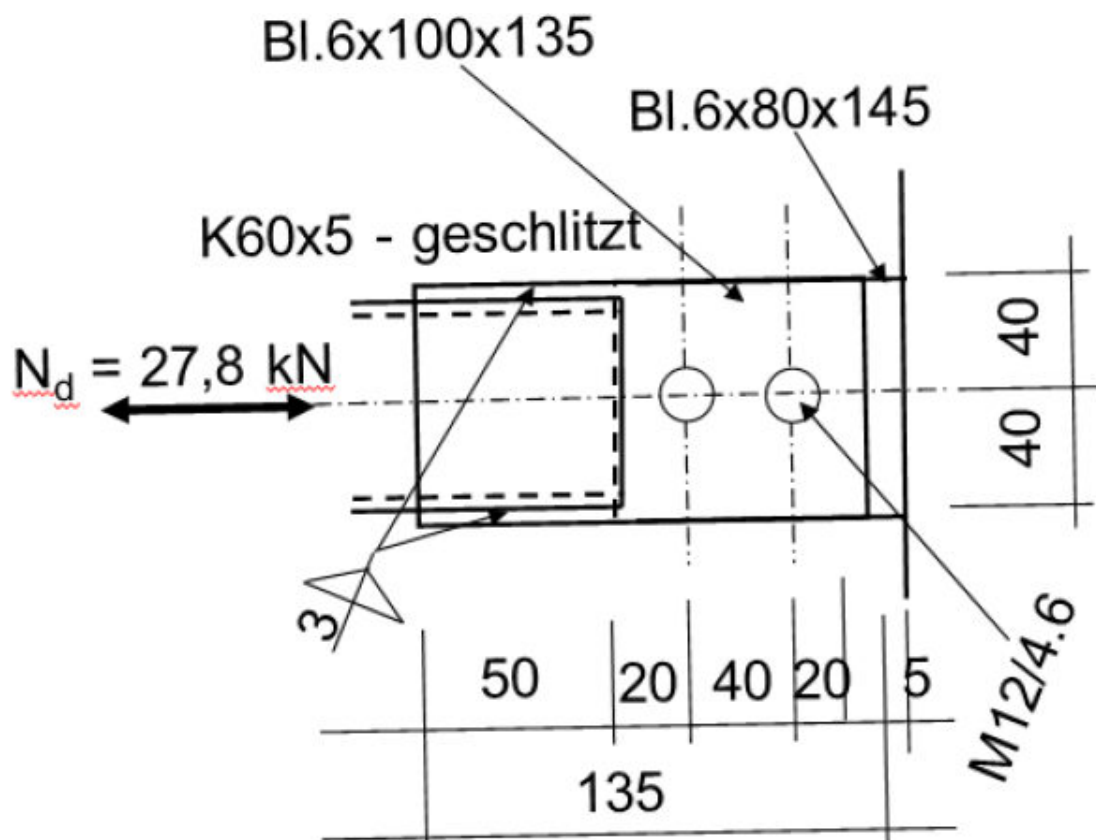
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = 0.17$$

Nachweis = "erfüllt"

Nachweis Anschluss QR 60x5 Pos. 7

Nachweis Anschlüsse QR 60x5 als Strebe (Fußpunkt)

$\max. N_d = -27,8 \text{ kN}$



Nachweis Schweißnaht :

Kehlnähte

Schweißnahtdicke : $a_w := 3 \text{ mm}$

Schweißnahtlänge : $l_w := 50 \text{ mm}$

Mindestdicken und -längen:Mindestmaße von tragenden Kehlnähten :Nahtdicke :

$$a_{w,min} := 3\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } a_w \geq a_{w,min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$3\text{mm} = 3\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Nahllänge :

$$l_{w,min} := \max(30\text{mm}, 6 \cdot a_w)$$

$$l_{w,min} = \max(30\text{mm}, 6 \cdot 3\text{mm} = 18\text{mm})$$

$$l_{w,min} = 30\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \geq l_{w,min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$50\text{mm} > 30\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

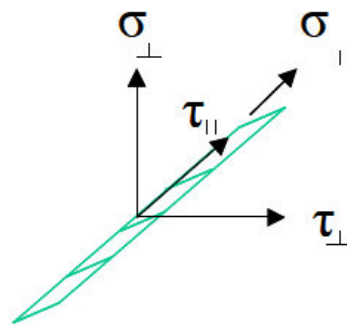
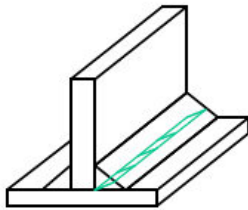
Maximale wirksame Kehlnahtlänge bei
überlappten Stößen ohne Abminderung der
Tragfähigkeit:

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \leq 150 \cdot a_w \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$50\text{mm} < 150 \cdot 3\text{mm} = 450\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Tragfähigkeit von Kehlnähten- Richtungsbezogenes Verfahren :



$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

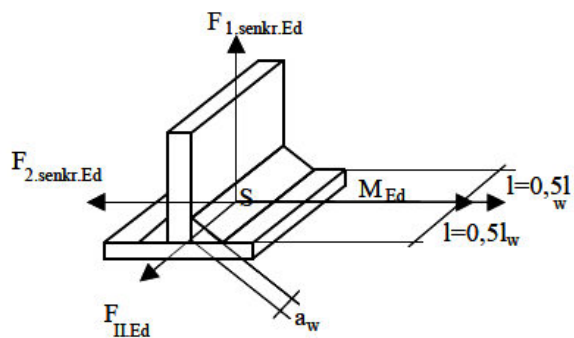
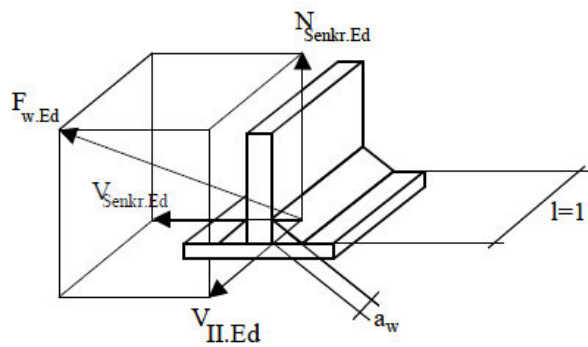
$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$



$$F_{1.senkr.Ed} := 0 \text{ kN}$$

$$F_{2.senkr.Ed} := 0 \text{ kN}$$

$$F_{II.Ed} := 27.8 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := 0 \text{ kNm}$$

Spannung senkrecht zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{I.Ed} := \frac{F_{1.senkr.Ed}}{2a_w \cdot l_w} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = \frac{0}{2 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannung parallel zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{II.Ed} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{I.Ed} := \sigma_{I.Ed} \quad \tau_{I.Ed} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{II.Ed} := \frac{F_{II.Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} \quad \tau_{II.Ed} = \frac{27.8 \text{ kN}}{4 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm}}$$

$$\tau_{II.Ed} = 92.67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

vorhandene Beanspruchung :

$$\sigma_{\text{vorh}} := \sqrt{\sigma_{\text{I.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{I.Ed}}^2 + \tau_{\text{II.Ed}}^2)}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = \sqrt{(0)^2 + 3 \cdot \left[(0)^2 + \left(92.67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2 \right]}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = 160.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grenzscherfestigkeit :

$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{\text{M2}}} \quad f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgende 2 Nachweise müssen erfüllt sein!

1. Nachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = \frac{160.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = 0.77 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

2. Nachweis :

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} = \frac{0.9 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.25}$$

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} = 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \sigma_{\text{I.Ed}} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$0 < 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- vereinfachtes Verfahren :

Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht : $f_{vw,d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$ $f_{vw,d} = \frac{360 \frac{N}{mm^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$

$$f_{vw,d} = 207.85 \frac{N}{mm^2}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit (2 Kehlnähte):

$$F_{w,Rd} := f_{vw,d} \cdot 2 \cdot a_w \quad F_{w,Rd} = 207.85 \frac{N}{mm^2} \cdot 2 \cdot 3mm$$

$$F_{w,Rd} = 1247.08 \frac{N}{mm}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkende Kraft (Resultierende) je Längeneinheit :

Ermittlung der Kraftresultierenden auf einen rechtwinkligen Kehlnahtanschluss:

bei mittigem Kraftangriff $M_{Ed} = 0$

Beanspruchung bezogen auf eine beliebige Stelle der Naht mit I1

$$N_{senkr.Ed} := \frac{F_{1, senkr.Ed}}{l_w} \quad N_{senkr.Ed} = \frac{0}{50mm} \quad N_{senkr.Ed} = 0 \frac{kN}{m}$$

$$V_{senkr.Ed} := \frac{F_{2, senkr.Ed}}{l_w} \quad V_{senkr.Ed} = \frac{0}{50mm} \quad V_{senkr.Ed} = 0 kN$$

$$V_{II.Ed} := \frac{F_{II.Ed}}{l_w} \quad V_{II.Ed} = \frac{27.8 kN}{50mm} \quad V_{II.Ed} = 556 \frac{kN}{m}$$

$$F_{w.Ed} := \sqrt{N_{senkr.Ed}^2 + V_{senkr.Ed}^2 + V_{II.Ed}^2}$$

$$F_{w.Ed} = \sqrt{(0)^2 + 0^2 + \left(556 \frac{kN}{m}\right)^2}$$

$$F_{w.Ed} = 556 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } F_{w.Ed} \leq F_{w,Rd} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{w.Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{556 \frac{kN}{m}}{1247.08 \frac{kN}{m}} \quad \frac{F_{w.Ed}}{F_{w,Rd}} = 0.45 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Schraubennachweis 2 M12/4.6

Querschnitte und Geometrie

Schrauben :

Schraubenkennwerte :

Festigkeitsklasse := 4.6

charakteristische Festigkeiten :

$$f_{ub} := \begin{cases} 400 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 500 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 800 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 1000 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{ub} = 400 \frac{N}{mm^2}$$

Gewindedurchmesser :

d := 12mm

Art der Schraube :

Art := R

Eingabe
P... Passschraube
R... rohe Schraube

Anzahl der Schrauben :

n_{Schr} := 2

Schaftdurchmesser :

$$d_s := \begin{cases} d & \text{if Art} = R \\ d + 1mm & \text{if Art} = P \end{cases}$$

d_s = 12mm

Lochdurchmesser :

d_L := 13mm

Lochdurchmesser bei "rohen" Schrauben 1 oder 2 mm größer wählen als d (Regelfall 1mm)

Schaftquerschnitt :

$$A_w := \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \quad A = \pi \cdot \frac{(12mm)^2}{4}$$

$$A = 113.1 mm^2$$

Spannungsquerschnitt :

$$A_S := \begin{cases} 84.3\text{mm}^2 & \text{if } d = 12\text{mm} \\ 157\text{mm}^2 & \text{if } d = 16\text{mm} \\ 245\text{mm}^2 & \text{if } d = 20\text{mm} \\ 303\text{mm}^2 & \text{if } d = 22\text{mm} \\ 353\text{mm}^2 & \text{if } d = 24\text{mm} \\ 459\text{mm}^2 & \text{if } d = 27\text{mm} \\ 561\text{mm}^2 & \text{if } d = 30\text{mm} \\ 817\text{mm}^2 & \text{if } d = 36\text{mm} \end{cases}$$

$$A_S = 84.3\text{mm}^2$$

Gewindeteil in :

$$\text{Scherfuge} := j$$

Eingabe :
j...Gewindeteil
befindet sich in
Scherfuge
n...außerhalb

maßgebender Schaftquerschnitt :

$$\underline{A}_w := \begin{cases} A & \text{if } \text{Scherfuge} = n \\ A_S & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A = 84.3\text{mm}^2$$

Verbindung :

$$\text{Verbindung} := \begin{cases} \text{"SL"} & \text{if } \text{Art} = R \\ \text{"SLP"} & \text{if } \text{Art} = P \end{cases}$$

$$\text{Verbindung} = \text{"SL"}$$

Lochabstände :

$$\begin{aligned} p_1 &:= 40\text{mm} & e_1 &:= 20\text{mm} \\ p_2 &:= 0\text{mm} & e_2 &:= 40\text{mm} \end{aligned}$$

Teilsicherheitsbeiwerte :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Einwirkungen :

$$V_{Ed} := 0\text{kN}$$

$$N_{Ed} := 27.8\text{kN}$$

$$M_{Ed} := 0\text{kNm}$$

Überprüfung der Rand und Lochabstände :

kleinste Abstände :

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = \frac{1.2 \cdot 13\text{mm}}{20\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = 0.78$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = \frac{1.2 \cdot 13\text{mm}}{40\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = 0.39$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = \frac{2.2 \cdot 13\text{mm}}{40\text{mm}}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = 0.72$$

Bedingung = "erfüllt"

größte Abstände :

$$t := 9\text{mm}$$

$$e_{\max} := 4 \cdot t + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 4 \cdot 9\text{mm} + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 76\text{mm}$$

$$p_{\max} := \min(14 \cdot t, 200\text{mm})$$

$$p_{\max} = \min[(14 \cdot 9\text{mm} = 126\text{mm}), 200\text{mm}]$$

$$p_{\max} = 126\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_1}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = \frac{20\text{mm}}{76\text{mm}}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = 0.26$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_2}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = \frac{40\text{mm}}{76\text{mm}} \qquad \frac{e_2}{e_{\max}} = 0.53 \qquad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_1}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = \frac{40\text{mm}}{126\text{mm}} \qquad \frac{p_1}{p_{\max}} = 0.32 \qquad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_2}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = \frac{0\text{mm}}{126\text{mm}} \qquad \frac{p_2}{p_{\max}} = 0 \qquad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 400 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \frac{0.84 \cdot \text{cm}^2}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 16.19 \text{ kN} \quad \text{pro Scherfuge}$$

Anzahl der Scherfugen : $n_s = 2$

$$F_{v,Rd} \cdot n = 32.37 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 16.19 \text{ kN}$$

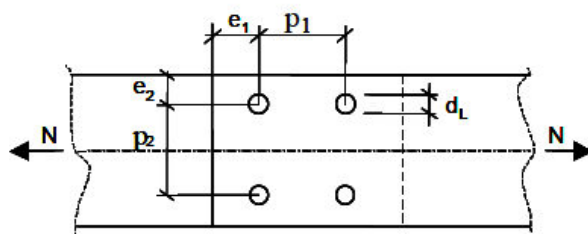
$$F_{v,Ed} := N_{Ed} \quad F_{v,Ed} = 27.8 \text{ kN}$$

Nachweis auf Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{27.8 \text{ kN}}{16.19 \text{ kN}} \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 1.72 \quad \text{Nachweis} = \text{"nicht erfüllt"}$$

Beanspruchung auf Lochleibung :



$$e_1 = 20 \text{ mm} \quad e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 40 \text{ mm} \quad p_2 = 0 \text{ mm}$$

Bauteildicke : $t = 9 \text{ mm}$

Zugfestigkeit des Bauteils

$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

für am Rand liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_L}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{35\text{mm}}{3 \cdot 13\text{mm}} = 0.9, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.11, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 0.51$$

$$k_1 := \min \left(\left| \frac{2.8 \cdot e_2}{d_L} - 1.7 \right|, \left| 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_L} - 1.7 \right|, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2.8 \cdot \frac{25\text{mm}}{13\text{mm}} - 1.7 = 3.68, 1.4 \cdot \frac{60\text{mm}}{13\text{mm}} - 1.7 = 4.76, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 1.7$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{2k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad F_{b,Rd} = \frac{2 \cdot 1.7 \cdot 0.51 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 12\text{mm} \cdot 9\text{mm}}{1.25}$$

$$F_{b,Rd} = 54.23\text{kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{27.8\text{ kN}}{54.23\text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = 0.51$$

Nachweis = "erfüllt"

für innen liegende Schrauben :

$$\alpha_{bv} := \min \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_L} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{40 \text{ mm}}{3 \cdot 13 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 0.78, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.11, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 0.78$$

$$k_1 := \min \left(\frac{1.4 \cdot p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right) \quad k_1 = \min \left(\frac{1.4 \cdot 0 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} - 1.7 = -1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = -1.7$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{2k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad F_{b,Rd} = \frac{2 \cdot -1.7 \cdot 0.78 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 12 \text{ mm} \cdot 9 \text{ mm}}{1.25}$$

$$F_{b,Rd} = -82.03 \text{ kN}$$

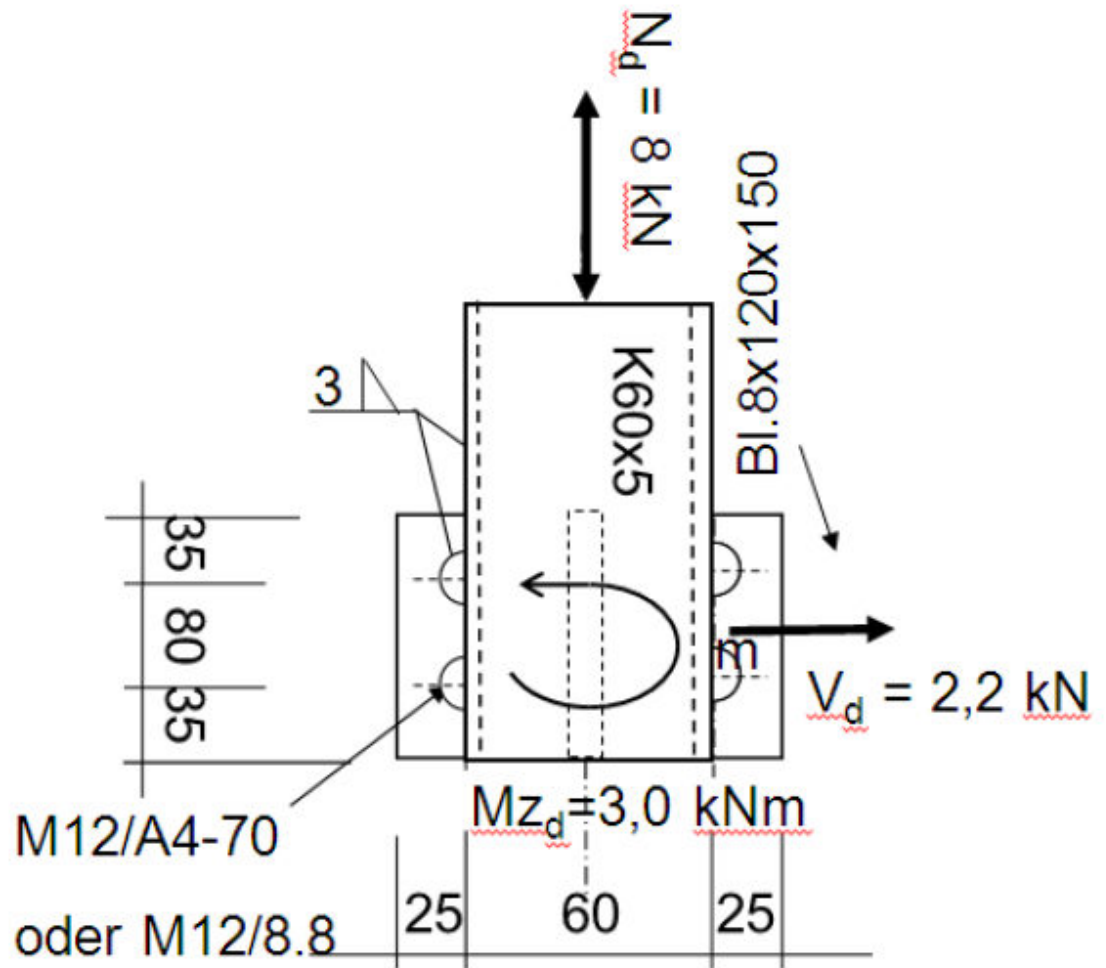
$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{27.8 \text{ kN}}{-82.03 \text{ kN}} \quad \left| \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \right| = 0.34 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Nachweis Anschlüsse QR 60x5 als Geländerpfosten

$\max. N_d = -8 \text{ kN}$; $M_z = 3,0 \text{ kNm}$; $M_y = 0,8 \text{ kNm}$ (2,77 kNm); $V_y = 2,2 \text{ kN}$

M_y wird aufgeteilt in Kräftepaar $N_v = 2,77 \text{ kNm} / 0,08 = 34,6 \text{ kN}$



Nachweis Schweißnaht :

Stumpfnah

Schweißnahtdicke : $a_w := 4\text{mm}$

Schweißnahtlänge : $l_w := 150\text{mm}$

Mindestdicken und -längen:

Mindestmaße von tragenden Kehlnähten :

Nahtdicke : $a_{w.min} := 3\text{mm}$

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } a_w \geq a_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$4\text{mm} > 3\text{mm}$

Bedingung = "erfüllt"

Nahtlänge :

$l_{w.min} := \max(30\text{mm}, 6 \cdot a_w)$

$l_{w.min} = \max(30\text{mm}, 6 \cdot 4\text{mm} = 24\text{mm})$

$l_{w.min} = 30\text{mm}$

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \geq l_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$150\text{mm} > 30\text{mm}$

Bedingung = "erfüllt"

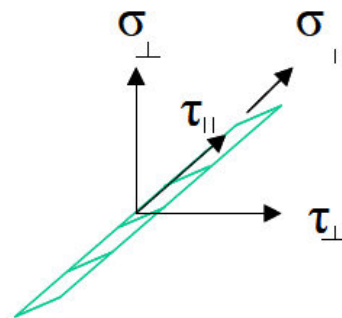
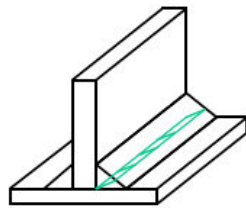
Maximale wirksame Kehlnahtlänge bei
überlappten Stößen ohne Abminderung der
Tragfähigkeit:

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \leq 150 \cdot a_w \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$90\text{mm} < 150 \cdot 4\text{mm} = 600\text{mm}$

Bedingung = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- Richtungsbezogenes Verfahren :



$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Material: Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

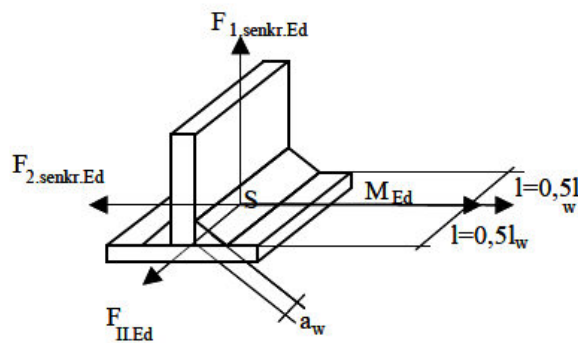
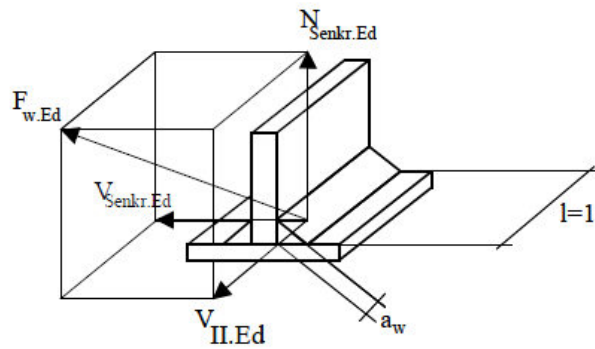
$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$



$$F_{1.senkr.Ed} := 2.2 \text{ kN}$$

$$F_{2.senkr.Ed} := 0 \text{ kN}$$

$$F_{II.Ed} := 42.6 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := 3.8 \text{ kNcm}$$

Spannung senkrecht zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{I.Ed} := \frac{F_{1.senkr.Ed}}{2a_w \cdot l_w} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = \frac{2.2 \text{ kN}}{2 \cdot 4 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = 1.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannung parallel zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{II.Ed} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{I.Ed} := \sigma_{I.Ed} \quad \tau_{I.Ed} = 1.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{II.Ed} := \frac{F_{II.Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} \quad \tau_{II.Ed} = \frac{42.6 \text{ kN}}{4 \cdot 4 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}}$$

$$\tau_{II.Ed} = 35.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

vorhandene Beanspruchung :

$$\sigma_{\text{vorh}} := \sqrt{\sigma_{\text{I.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{I.Ed}}^2 + \tau_{\text{II.Ed}}^2)}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = \sqrt{\left(1.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left[\left(1.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2 + \left(35.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2\right]}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = 61.54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grenzscherfestigkeit :

$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{\text{M2}}} \quad f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgende 2 Nachweise müssen erfüllt sein!

1. Nachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = \frac{61.54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = 0.3 \quad \text{Nachweis = "erfüllt"}$$

2. Nachweis :

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} = \frac{0.9 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.25}$$

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} = 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \sigma_{\text{I.Ed}} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$1.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- vereinfachtes Verfahren :

Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht :

$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{\text{M2}}}$$

$$f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit (2 Kehlnähte):

$$F_{w,Rd} := f_{vw,d} \cdot 2 \cdot a_w \quad F_{w,Rd} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot 4\text{mm}$$

$$F_{w,Rd} = 1662.77 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkende Kraft (Resultierende) je Längeneinheit :

Ermittlung der Kraftresultierenden auf einen rechtwinkligen Kehlnahtanschluss:

bei mittigem Kraftangriff $M_{Ed} = 0$

Beanspruchung bezogen auf eine beliebige Stelle der Naht mit l_1

$$N_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{1,\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = \frac{2.2 \text{ kN}}{150\text{mm}} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = 14.67 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{2,\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{150\text{mm}} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{ll.Ed}} := \frac{F_{\text{ll.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{ll.Ed}} = \frac{42.6 \text{ kN}}{150\text{mm}} \quad V_{\text{ll.Ed}} = 284 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{w,Ed} := \sqrt{N_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{ll.Ed}}^2}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(14.67 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2 + 0^2 + \left(284 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = 284.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{284.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{1662.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = 0.17 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Schraubennachweis 4 M12/4.6

Querschnitte und Geometrie

Schrauben :

Schraubenkennwerte :

Festigkeitsklasse := 4.6

charakteristische Festigkeiten :

$$f_{ub} := \begin{cases} 400 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 500 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 800 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 1000 \frac{N}{mm^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{ub} = 400 \frac{N}{mm^2}$$

Gewindedurchmesser :

d := 12mm

Art der Schraube :

Art := R

Eingabe
P... Passschraube
R... rohe Schraub

Anzahl der Schrauben :

n_{Schr} := 4

Schaftdurchmesser :

$$d_s := \begin{cases} d & \text{if Art} = R \\ d + 1mm & \text{if Art} = P \end{cases}$$

d_s = 12mm

Lochdurchmesser :

d_L := 13mm

Lochdurchmesser bei "rohen" Schrauben 1 oder 2 mm größer wählen als d (Regelfall 1mm)

Schaftquerschnitt :

$$A_w := \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \quad A = \pi \cdot \frac{(12mm)^2}{4}$$

$$A = 113.1 mm^2$$

Spannungsquerschnitt :

$$A_S := \begin{cases} 84.3\text{mm}^2 & \text{if } d = 12\text{mm} \\ 157\text{mm}^2 & \text{if } d = 16\text{mm} \\ 245\text{mm}^2 & \text{if } d = 20\text{mm} \\ 303\text{mm}^2 & \text{if } d = 22\text{mm} \\ 353\text{mm}^2 & \text{if } d = 24\text{mm} \\ 459\text{mm}^2 & \text{if } d = 27\text{mm} \\ 561\text{mm}^2 & \text{if } d = 30\text{mm} \\ 817\text{mm}^2 & \text{if } d = 36\text{mm} \end{cases}$$

$$A_S = 84.3\text{mm}^2$$

Gewindeteil in :

$$\text{Scherfuge} := j$$

Eingabe :
j...Gewindeteil
befindet sich in
Scherfuge
n...außerhalb

maßgebender Schaftquerschnitt :

$$\underline{A} := \begin{cases} A & \text{if } \text{Scherfuge} = n \\ A_S & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A = 84.3\text{mm}^2$$

Spannungsquerschnitt :

$$A_{Sp} := \begin{cases} 84.3\text{mm}^2 & \text{if } d = 12\text{mm} \\ 157\text{mm}^2 & \text{if } d = 16\text{mm} \\ 245\text{mm}^2 & \text{if } d = 20\text{mm} \\ 303\text{mm}^2 & \text{if } d = 22\text{mm} \\ 353\text{mm}^2 & \text{if } d = 24\text{mm} \\ 459\text{mm}^2 & \text{if } d = 27\text{mm} \\ 561\text{mm}^2 & \text{if } d = 30\text{mm} \\ 817\text{mm}^2 & \text{if } d = 36\text{mm} \end{cases}$$

$$A_{Sp} = 84.3\text{mm}^2$$

Verbindung :

$$\text{Verbindung} := \begin{cases} \text{"SL"} & \text{if } \text{Art} = R \\ \text{"SLP"} & \text{if } \text{Art} = P \end{cases}$$

$$\text{Verbindung} = \text{"SL"}$$

Material :

$$\text{Stahl} := S235$$

Lochabstände :

$$p_1 := 80\text{mm} \quad e_1 := 35\text{mm}$$

$$p_2 := 60\text{mm} \quad e_2 := 25\text{mm}$$

Teilsicherheitsbeiwerte :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Einwirkungen : $V_{Ed} := 8\text{kN}$ $N_{Ed} := 2.2\text{kN}$ $M_{Ed} := 3\text{kNm}$ $M := 2\text{kNm}$

$$4 \cdot (40^2 + 30^2) \text{mm}^2 = 10000 \text{mm}^2$$

$$N_V := \frac{V_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M \cdot 30\text{mm}}{10000\text{mm}^2} \quad N_V = \frac{8\text{kN}}{4} + \frac{2\text{kNm} \cdot 30\text{mm}}{10000\text{mm}^2} \quad N_V = 8\text{kN}$$

$$N_H := \frac{N_{Ed}}{n_{Schr}} + \frac{M \cdot 40\text{mm}}{10000\text{mm}^2} \quad N_H = \frac{2.2\text{kN}}{4} + \frac{2\text{kNm} \cdot 40\text{mm}}{10000\text{mm}^2} \quad N_H = 8.55\text{kN}$$

$$N_R := \sqrt{N_H^2 + N_V^2}$$

$$N_R = \sqrt{(8.55\text{ kN})^2 + (8\text{ kN})^2}$$

$$N_R = 11.71\text{kN}$$

Überprüfung der Rand und Lochabstände :**kleinste Abstände :**

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = \frac{1.2 \cdot 13\text{mm}}{35\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_1} = 0.45$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = \frac{1.2 \cdot 13\text{mm}}{25\text{mm}}$$

$$\frac{1.2 \cdot d_L}{e_2} = 0.62$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = \frac{2.2 \cdot 13\text{mm}}{80\text{mm}}$$

$$\frac{2.2 \cdot d_L}{p_1} = 0.36$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = \frac{2.4 \cdot 13\text{mm}}{60\text{mm}}$$

$$\frac{2.4 \cdot d_L}{p_2} = 0.52$$

Bedingung = "erfüllt"

größte Abstände :

$$t := 9\text{mm}$$

$$e_{\max} := 4 \cdot t + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 4 \cdot 9\text{mm} + 40\text{mm}$$

$$e_{\max} = 76\text{mm}$$

$$p_{\max} := \min(14 \cdot t, 200\text{mm})$$

$$p_{\max} = \min[(14 \cdot 9\text{mm} = 126\text{mm}), 200\text{mm}]$$

$$p_{\max} = 126\text{mm}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_1}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = \frac{35\text{mm}}{76\text{mm}}$$

$$\frac{e_1}{e_{\max}} = 0.46$$

Bedingung = "erfüllt"

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{e_2}{e_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{e_2}{e_{\max}} = \frac{25\text{mm}}{76\text{mm}} \qquad \frac{e_2}{e_{\max}} = 0.33 \qquad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_1}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_1}{p_{\max}} = \frac{80\text{mm}}{126\text{mm}} \qquad \frac{p_1}{p_{\max}} = 0.63 \qquad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

$$\text{Bedingung} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{p_2}{p_{\max}} \leq 1.0 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{p_2}{p_{\max}} = \frac{60\text{mm}}{126\text{mm}} \qquad \frac{p_2}{p_{\max}} = 0.48 \qquad \text{Bedingung} = \text{"erfüllt"}$$

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if } \text{Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if } \text{Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if } \text{Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if } \text{Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if } \text{Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if } \text{Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if } \text{Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if } \text{Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 400 \cdot \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{0.84 \cdot cm^2}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 16.19 kN \quad \text{pro Scherfuge}$$

Anzahl der Scherfugen :

$$F_{v,Rd} = 16.19 kN$$

$$F_{v,Ed} := N_R \quad F_{v,Ed} = 11.71 kN$$

Nachweis auf Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{11.71 kN}{16.19 kN} \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 0.72 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Beanspruchung einer Schraube auf Zug in Schafttrichtung :

vorhandene Zugkraft : $Z_d := \frac{3 kNm}{80 mm} + \frac{0.8 kNm}{80 mm} \quad Z_d = 47.5 kN$

oberes Schraubenpaar : $Z_{d1} := \frac{Z_d}{2} \quad Z_{d1} = \frac{47.5 kN}{2} \quad Z_{d1} = 23.75 kN$

$$F_{t,Ed} := Z_{d1} \quad F_{t,Ed} = 23.75 kN$$

Schraube :

Senkschraube := n

$$k_2 := \begin{cases} 0.63 & \text{if Senkschraube} = j \\ 0.9 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k_2 = 0.9$$

Grenzzugkraft : $F_{t,Rd} := k_2 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_{sp}}{\gamma_{M2}} \quad F_{t,Rd} = 0.9 \cdot 400 \cdot \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{0.84 \cdot cm^2}{1.25}$

$$F_{t,Rd} = 24.28 kN$$

Nachweis auf Zugbeanspruchung :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

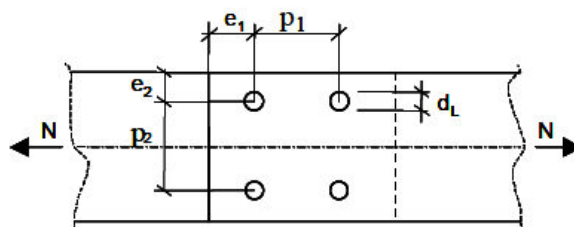
$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{23.75 \text{ kN}}{24.28 \text{ kN}} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = 0.98 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Beanspruchung auf Zug und Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd} \cdot 1.4} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd} \cdot 1.4} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{23.75 \text{ kN}}{24.28 \text{ kN} \cdot 1.4} + \frac{11.71 \text{ kN}}{16.19 \text{ kN}} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd} \cdot 1.4} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 1.42$$

Nachweis = "nicht erfüllt"

Beanspruchung auf Lochleibung :

$$e_1 = 35 \text{ mm} \quad e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$p_1 = 80 \text{ mm} \quad p_2 = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Bauteildicke : } t = 9 \text{ mm}$$

Zugfestigkeit des Bauteils

$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

für am Rand liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_L}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) \quad \alpha_b = \min \left(\frac{35\text{mm}}{3 \cdot 13\text{mm}} = 0.9, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.11, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 0.9$$

$$k_1 := \min \left(\left| \frac{2.8 \cdot e_2}{d_L} - 1.7 \right|, \left| 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_L} - 1.7 \right|, 2.5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2.8 \cdot \frac{25\text{mm}}{13\text{mm}} - 1.7 = 3.68, 1.4 \cdot \frac{60\text{mm}}{13\text{mm}} - 1.7 = 4.76, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 2.5$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b,Rd} := \frac{2k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad F_{b,Rd} = \frac{2 \cdot 2.5 \cdot 0.9 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 12\text{mm} \cdot 9\text{mm}}{1.25}$$

$$F_{b,Rd} = 139.57 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = \frac{11.71 \text{ kN}}{139.57 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 0.08$$

Nachweis = "erfüllt"

für innen liegende Schrauben :

$$\alpha_b := \min \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_L} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

$$\alpha_b = 1$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{80 \text{ mm}}{3 \cdot 13 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 1.8, \frac{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.11, 1 \right)$$

$$k_1 := \min \left(\frac{1.4 \cdot p_2}{d_L} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$k_1 = 2.5$$

$$k_1 = \min \left(\frac{1.4 \cdot 60 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} - 1.7 = 4.76, 2.5 \right)$$

Grenzlochleibungskraft :

$$F_{b.Rd} := \frac{2k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_s \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad F_{b.Rd} = \frac{2 \cdot 2.5 \cdot 1 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 12 \text{ mm} \cdot 9 \text{ mm}}{1.25}$$

$$F_{b.Rd} = 155.52 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = \frac{11.71 \text{ kN}}{155.52 \text{ kN}}$$

$$\left| \frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} \right| = 0.08$$

Nachweis = "erfüllt"

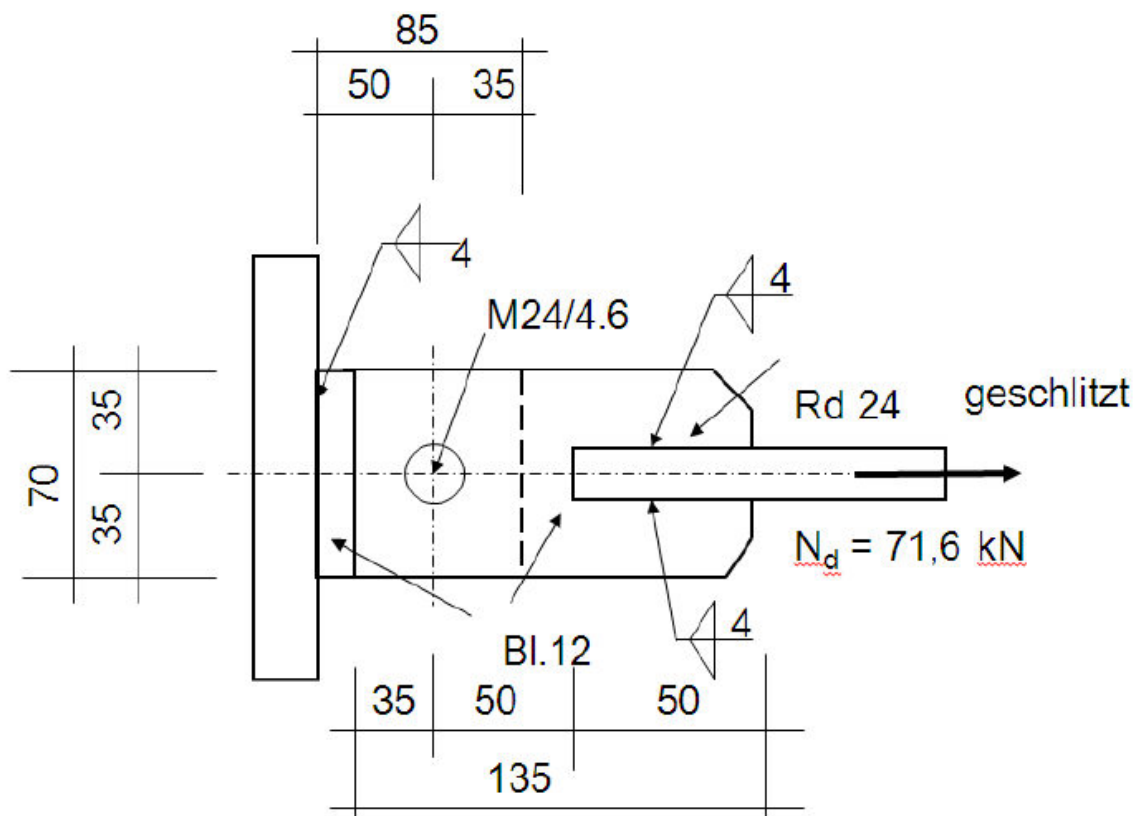
Nachweis Anschlüsse RR 80x40x5 oder Rd 76x5 – Pos. 6

Mit Bl.5 am Pfosten QR 60x5 Pos. 7 (geschlitzt) angeschweißt mit Schlitzlänge 40cm und 3mm Kehlnaht (beidseitig). Am Handlauf Pos.8 mit Doppelkehlnaht $a=3\text{mm}$ am Bl.5 angeschweißt.
Nachweise sind offensichtlich erfüllt.

Nachweis der Zugstabanschlüsse Pos. 10 Rd 18 und Pos.11 Rd 20

Auf diese beiden Nachweise wird aus Analogiegründen zu dem Zugstabanschluss Pos.12 Rd 24 verzichtet.

Nachweis der Zugstabanschlüsse Pos.12 Rd 24



Nachweis Flanken-Schweißnähte :

Rechnerisch werden nur einfache Kehlnähte angesetzt.

Kehlnähte

Schweißnahtdicke : $a_w := 4\text{mm}$

Schweißnahtlänge : $l_w := 50\text{mm}$

Mindestdicken und -längen:

Mindestmaße von tragenden Kehlnähten :

Nahtdicke : $a_{w.min} := 3\text{mm}$

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } a_w \geq a_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$4\text{mm} > 3\text{mm}$

Bedingung = "erfüllt"

Nahtlänge :

$l_{w.min} := \max(30\text{mm}, 6 \cdot a_w)$

$l_{w.min} = \max(30\text{mm}, 6 \cdot 4\text{mm} = 24\text{mm})$

$l_{w.min} = 30\text{mm}$

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \geq l_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$50\text{mm} > 30\text{mm}$

Bedingung = "erfüllt"

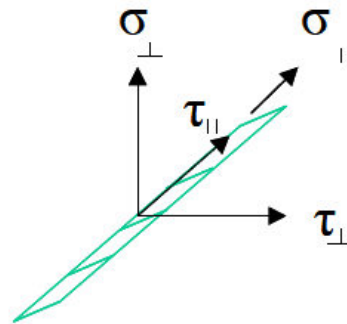
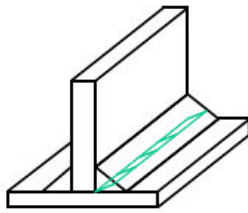
Maximale wirksame Kehlnahtlänge bei
überlappten Stößen ohne Abminderung der
Tragfähigkeit:

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \leq 150 \cdot a_w \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$50\text{mm} < 50 \cdot 4\text{mm} = 200\text{mm}$

Bedingung = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- Richtungsbezogenes Verfahren :



$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

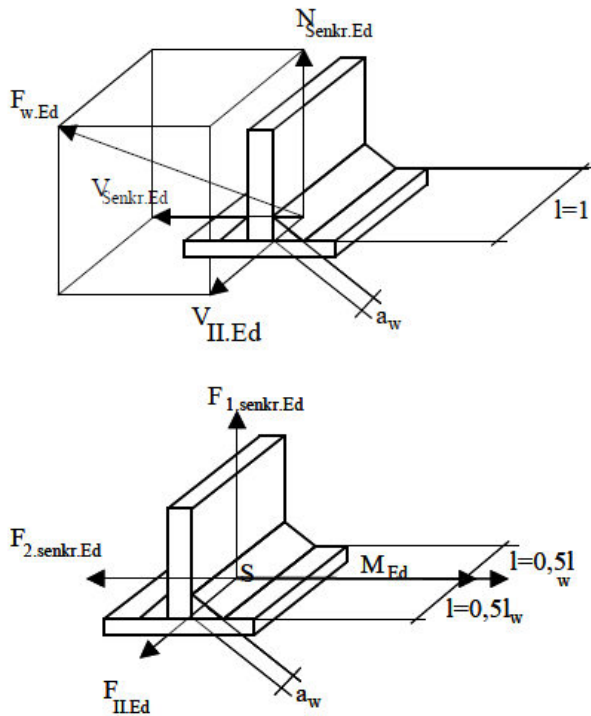
$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$



$$F_{1.\text{senkr.Ed}} := 0\text{kN}$$

$$F_{2.\text{senkr.Ed}} := 0\text{kN}$$

$$F_{II.\text{Ed}} := 71.6\text{kN}$$

$$M_{\text{Ed}} := 0\text{kNcm}$$

Spannung senkrecht zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{I.\text{Ed}} := \frac{F_{1.\text{senkr.Ed}}}{2a_w \cdot l_w} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.\text{Ed}} = \frac{0}{2 \cdot 4\text{mm} \cdot 50\text{mm}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.\text{Ed}} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannung parallel zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{II.\text{Ed}} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{I.\text{Ed}} := \sigma_{I.\text{Ed}} \quad \tau_{I.\text{Ed}} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{II.\text{Ed}} := \frac{F_{II.\text{Ed}}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} \quad \tau_{II.\text{Ed}} = \frac{71.6\text{kN}}{4 \cdot 4\text{mm} \cdot 50\text{mm}}$$

$$\tau_{II.\text{Ed}} = 179 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

vorhandene Beanspruchung :

$$\sigma_{\text{vorh}} := \sqrt{\sigma_{\text{I.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{I.Ed}}^2 + \tau_{\text{II.Ed}}^2)}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot \left[0^2 + \left(179 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2 \right]}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = 310.04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grenzscherfestigkeit :

$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{\text{M2}}} \quad f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgende 2 Nachweise müssen erfüllt sein!

1. Nachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = \frac{310.04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = 1.49 \quad \text{Nachweis} = \text{"nicht erfüllt"}$$

2. Nachweis :

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} = \frac{0.9 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.25}$$

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} = 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \sigma_{\text{I.Ed}} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$0 < 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- vereinfachtes Verfahren :

Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht : $f_{vw,d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$ $f_{vw,d} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$

$$f_{vw,d} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit (2 Kehlnähte):

$$F_{w,Rd} := f_{vw,d} \cdot 2 \cdot a_w \quad F_{w,Rd} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot 4 \text{mm}$$

$$F_{w,Rd} = 1662.77 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkende Kraft (Resultierende) je Längeneinheit :

Ermittlung der Kraftresultierenden auf einen rechtwinkligen Kehlnahtanschluss:

bei mittigem Kraftangriff $M_{Ed} = 0$

Beanspruchung bezogen auf eine beliebige Stelle der Naht mit l1

$$N_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{1,\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{50 \text{mm}} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{2,\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{50 \text{mm}} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{ll.Ed}} := \frac{F_{\text{ll.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{ll.Ed}} = \frac{71.6 \text{ kN}}{50 \text{mm}} \quad V_{\text{ll.Ed}} = 1432 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{w,Ed} := \sqrt{N_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{ll.Ed}}^2}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{0^2 + 0^2 + \left(1432 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = 1432 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{1432 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{1662.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} \quad \frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = 0.86 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Nachweis**Stirn-Schweißnähte :**

Rechnerisch werden nur einfache Kehlnähte angesetzt.

Kehlnähte

Schweißnahtdicke : $a_w := 4\text{mm}$

Schweißnahtlänge : $l_w := 70\text{mm}$

Minstdicken und -längen:

Mindestmaße von tragenden Kehlnähten :

Nahtdicke : $a_{w.min} := 3\text{mm}$

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } a_w \geq a_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$4\text{mm} > 3\text{mm}$

Bedingung = "erfüllt"

Nahtlänge :

$l_{w.min} := \max(30\text{mm}, 6 \cdot a_w)$

$l_{w.min} = \max(30\text{mm}, 6 \cdot 4\text{mm} = 24\text{mm})$

$l_{w.min} = 30\text{mm}$

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \geq l_{w.min} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$70\text{mm} > 30\text{mm}$

Bedingung = "erfüllt"

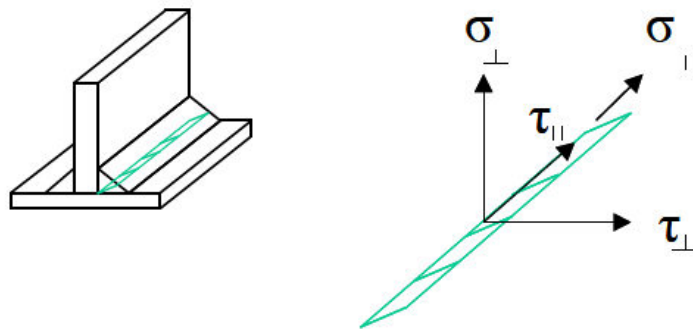
Maximale wirksame Kehlnahtlänge bei
überlappten Stößen ohne Abminderung der
Tragfähigkeit:

Bedingung := $\begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } l_w \leq 150 \cdot a_w \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$70\text{mm} < 150 \cdot 4\text{mm} = 600\text{mm}$

Bedingung = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- Richtungsbezogenes Verfahren :



$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Material : Stahl := S235

Zugfestigkeit des Bauteils

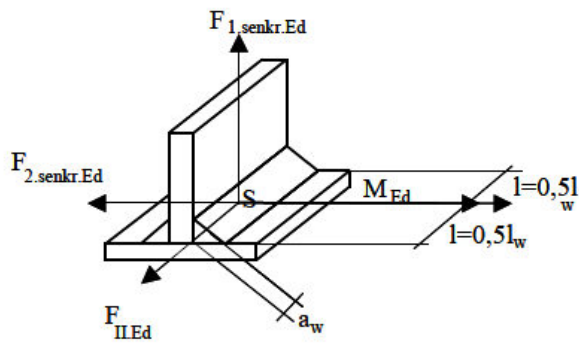
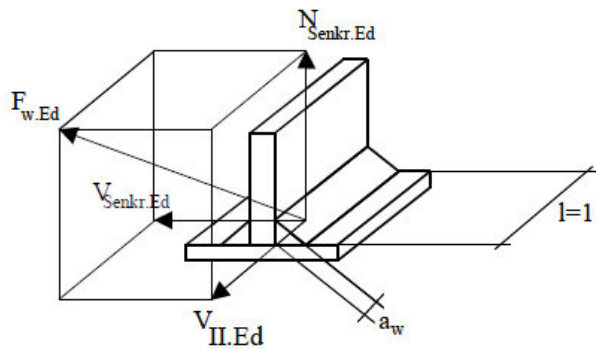
$$f_u := \begin{cases} 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 430 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korrelationswert :

$$\beta_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if Stahl} = \text{S235} \\ 0.85 & \text{if Stahl} = \text{S275} \\ 0.9 & \text{if Stahl} = \text{S355} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S420} \\ 1 & \text{if Stahl} = \text{S450} \end{cases}$$

$$\beta_w = 0.8$$



$$F_{1.senkr.Ed} := 0 \text{ kN}$$

$$F_{2.senkr.Ed} := 0 \text{ kN}$$

$$F_{II.Ed} := 71.6 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := 0 \text{ kNm}$$

Spannung senkrecht zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{I.Ed} := \frac{F_{1.senkr.Ed}}{2a_w \cdot l_w} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = \frac{0}{2 \cdot 4 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\sigma_{I.Ed} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Spannung parallel zur Schweißnahtachse ;

$$\sigma_{II.Ed} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{I.Ed} := \sigma_{I.Ed} \quad \tau_{I.Ed} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse :

$$\tau_{II.Ed} := \frac{F_{II.Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} \quad \tau_{II.Ed} = \frac{71.6 \text{ kN}}{4 \cdot 4 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm}}$$

$$\tau_{II.Ed} = 127.86 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

vorhandene Beanspruchung :

$$\sigma_{\text{vorh}} := \sqrt{\sigma_{\text{I.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{I.Ed}}^2 + \tau_{\text{II.Ed}}^2)}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot \left[0^2 + \left(127.86 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2 \right]}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} = 221.46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Grenzscherfestigkeit :

$$f_{\text{vw.d}} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{\text{M2}}} \quad f_{\text{vw.d}} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{\text{vw.d}} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgende 2 Nachweise müssen erfüllt sein!

1. Nachweis :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = \frac{221.46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$\frac{\sigma_{\text{vorh}}}{f_{\text{vw.d}}} = 1.07 \quad \text{Nachweis} = \text{"nicht erfüllt"}$$

2. Nachweis :

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} = \frac{0.9 \cdot 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.25}$$

$$0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} = 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \sigma_{\text{I.Ed}} \leq 0.9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}}} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$0 < 259.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis = "erfüllt"

Tragfähigkeit von Kehlnähten- vereinfachtes Verfahren :

Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht :

$$f_{vw,d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad f_{vw,d} = \frac{360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25}$$

$$f_{vw,d} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit (2 Kehlnähte):

$$F_{w,Rd} := f_{vw,d} \cdot 2 \cdot a_w \quad F_{w,Rd} = 207.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot 4 \text{mm}$$

$$F_{w,Rd} = 1662.77 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkende Kraft (Resultierende) je Längeneinheit :

Ermittlung der Kraftresultierenden auf einen rechtwinkligen Kehlnahtanschluss:

bei mittigem Kraftangriff $M_{Ed} = 0$

Beanspruchung bezogen auf eine beliebige Stelle der Naht mit l1

$$N_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{1,\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{70 \text{mm}} \quad N_{\text{senkr.Ed}} = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{\text{senkr.Ed}} := \frac{F_{2,\text{senkr.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = \frac{0}{70 \text{mm}} \quad V_{\text{senkr.Ed}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{II.Ed}} := \frac{F_{\text{II.Ed}}}{l_w} \quad V_{\text{II.Ed}} = \frac{71.6 \text{ kN}}{70 \text{mm}} \quad V_{\text{II.Ed}} = 1022.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{w,Ed} := \sqrt{N_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{senkr.Ed}}^2 + V_{\text{II.Ed}}^2}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{0^2 + 0^2 + \left(1022.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = 1022.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } F_{w.Ed} \leq F_{w.Rd} \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = \frac{1022.86 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{1662.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} \quad \frac{F_{w.Ed}}{F_{w.Rd}} = 0.62 \quad \text{Nachweis} = \text{"erfüllt"}$$

Schraubennachweis M24/4.6

Querschnitte und Geometrie

Schrauben :

Schraubenkennwerte :

Festigkeitsklasse := 4.6

charakteristische Festigkeiten :

$$f_{ub} := \begin{cases} 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \\ 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \\ 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \\ 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \end{cases}$$

$$f_{ub} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Gewindedurchmesser :

d := 24mm

Art der Schraube :

Art := R

Eingabe
P... Passschraube
R... rohe Schraub

Anzahl der Schrauben :

n_{Schr} := 1

Schaftdurchmesser :

$$d_s := \begin{cases} d & \text{if Art} = R \\ d + 1\text{mm} & \text{if Art} = P \end{cases}$$

d_s = 24mm

Lochdurchmesser :

d_L := 25mm

Lochdurchmesser bei "rohen" Schrauben 1 oder 2 mm größer wählen als d (Regelfall 1mm)

Schaftquerschnitt :

$$A := \pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \quad A = \pi \cdot \frac{(24\text{mm})^2}{4}$$

$$A = 452.39 \text{ mm}^2$$

Spannungsquerschnitt :

$$A_S := \begin{cases} 84.3 \text{ mm}^2 & \text{if } d = 12 \text{ mm} \\ 157 \text{ mm}^2 & \text{if } d = 16 \text{ mm} \\ 245 \text{ mm}^2 & \text{if } d = 20 \text{ mm} \\ 303 \text{ mm}^2 & \text{if } d = 22 \text{ mm} \\ 353 \text{ mm}^2 & \text{if } d = 24 \text{ mm} \\ 459 \text{ mm}^2 & \text{if } d = 27 \text{ mm} \\ 561 \text{ mm}^2 & \text{if } d = 30 \text{ mm} \\ 817 \text{ mm}^2 & \text{if } d = 36 \text{ mm} \end{cases}$$

$$A_S = 353 \text{ mm}^2$$

Gewindeteil in :

Scherfuge := j

Eingabe :
j... Gewindeteil
befindet sich in
Scherfuge
n... außerhalb

maßgebender Schaftquerschnitt :

$$\underline{A} := \begin{cases} A & \text{if } \text{Scherfuge} = n \\ A_S & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A = 353 \text{ mm}^2$$

Verbindung :

$$\text{Verbindung} := \begin{cases} \text{"SL"} & \text{if } \text{Art} = R \\ \text{"SLP"} & \text{if } \text{Art} = P \end{cases}$$

$$\text{Verbindung} = \text{"SL"}$$

Teilsicherheitsbeiwerte :

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Einwirkungen :

$$V_{Ed} := 0 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} := 71.6 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := 0 \text{ kNm}$$

Grenzabscherkraft :

$$F_{v,Rd} := \begin{cases} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = n \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 4.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 5.6 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 8.8 \wedge \text{Scherfuge} = j \\ 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}} & \text{if Festigkeitsklasse} = 10.9 \wedge \text{Scherfuge} = j \end{cases}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 400 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \frac{3.53 \text{ cm}^2}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 67.78 \text{ kN} \quad \text{pro Scherfuge}$$

$$\text{Anzahl der Scherfugen : } n := 1$$

$$F_{v,Rd} \cdot n = 67.78 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 67.78 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} := N_{Ed} \quad F_{v,Ed} = 71.6 \text{ kN}$$

Nachweis auf Abscheren :

$$\text{Nachweis} := \begin{cases} \text{"erfüllt"} & \text{if } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \\ \text{"nicht erfüllt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{71.6 \text{ kN}}{67.78 \text{ kN}} \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = 1.06 \quad \text{Nachweis} = \text{"nicht erfüllt"}$$